Verlag Schnelle
Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH & Co
2085 Quickborn bei Hamburg
Postscheckkonto Hmb 103676. Global Bank Hamburg 25011
Druck: S. Maurischat & A. Bevensee, Quickborn. Printed in Germany.

GRUNDLAGENSTUDIEN
AUS
KYBERNETIK
UND GEISTESWISSENSCHAFT

BAND 5 HEFT 3/4 DEZEMBER 1964

Kurztitel: GrKG 5(3/4) Schnelle, 2085 Quickborn/Germany

INHALT

VERLAG SCHNELLE, QUICKBORN BEI HAMBURG

Neuerdings vollzieht sich eine immer stärker werdende Annäherung zwischen Natur- und Geisteswissenschaft als Auswirkung methodologischer Bestrebungen, für die sich das Wort Kybernetik eingebürgert hat. Die Einführung statistischer und speziell informationstheoretischer Begriffe in die Ästhetik, die invariantentheoretische Behandlung des Gestaltbegriffs und die Tendenzen, zwischen der Informationsverarbeitung in Maschine und Nervensystem Isomorphismen nachzuweisen, sind nur drei Symptome dafür.
Die Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft sollen der raschen Publikation neuer Resultate dienen, welche diese Entwicklung zu fördern geeignet sind. Veröffentlicht werden vor allem grundlegende Ergebnisse, sowohl mathematischer, psychologischer, physiologischer und in Einzelfällen physikalischer als auch philosophischer und geisteswissenschaftlicher Art. Nur in Ausnahmefällen werden dagegen Beiträge über komplexere Fragen der Nachrichtentechnik, über Schaltungen von sehr spezieller Bedeutung, über Kunst und literaturgeschichtliche Probleme etc. angenommen. In geringer Zahl werden Buchbesprechungen veröffentlicht. (GrKG 1, 1960, S. 1)

Erscheinungsweise: Viermal im Jahr mit je 32 bis 48 Seiten.
Beiheft: Im Jahr erscheint für Abonnenten ein Beiheft.
Preis: DM 4,80 je Heft und Beiheft. Für Angehörige von Lehranstalten 2,88 DM.
Im Abonnement Zustellung und Jahreseinbanddeckel kostenlos. Bezug durch Buchhandel oder Verlag.
Manuskriptsendungen: an Schriftleitung gemäß unserer Richtlinien auf der dritten Umschlagseite.

Schriftleitung

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Les sciences naturelles et les sciences humaines se rapprochent de plus en plus; ce rapprochement est une conséquence des tendances métodologiques appelées cybernetique. L'introduction en esthétique de termes statistiques et surtout de termes de la théorie de l'information, le fait de considérer mathématiquement la notion de Gestalt comme une invariante, et les tendances à chercher des isomorphismes entre la transformation de l'information par les machines et par le système nerveux sont seulement trois exemples du dit rapprochement.
Les «Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft» ont pour but de publier rapidement des résultats nouveaux capables de contribuer à ce dévéloppement. Surtout des résultats fondamentaux (soit de caractère mathématique, psychologique, physiologique et quelquefois physique — soit de caractère philosophique ou appartenant aux sciences humaines) sont publiés. Par contre des travaux concernant soit des questions assez complexes de la théorie de communication et télécommunication, soit des reseaux éléctriques ayant des buts trop spéciaux, soit des problèmes de l'histoire de l'art et de la litérature etc. ne sont acceptés qu'exceptionnellement aussi que les comptes rendus de nouveaux livres. (GrKG, T. 1, 1960, p. 1.)

Il paraissent 4 numéros de 32 à 48 pages par an et un numéro spécial, pour les abonnés. Prix: DM 4.80 le numéro (et le numéro spezial); pour membres des universités et écoles DM 2.88. L'envoi et la couverture du tome complèt (à la fin de chaque année) est gratis pour les abonnés.
Les GrKG sont vendus en librairie ou envoyés par les Editeurs Schnelle
Les manuscrits doivent être envoyés au rédacteur en chef. Quant à la forme voir les remarques à la page 3 de cette couverture.

Rédacteur en chef

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

Natural and cultural sciences are in train to come together closer and closer as a consequence of methodologica- tendencies called cybernetics. The introduction of terms of statistics and specially of information theory into the terminology of esthetics, the interpretation of 'Gestalten' as mathematical invariants, and the search for isomorphisms by comparing information handling in computers and the brain are only three symptoms of the process mentioned above.
The Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft would like to cultivate this tendencies by rapid publication of new results related to cybernetics, especially results of basic interest, no matter whether belonging to the field of mathematics, psychology, physiology and sometimes even of physics, or rather to the fields of philosophy and cultural sciences. But papers which concern complex technical problems of transmission and processing of information, or electrical networks with very limited purpose, or the history of art and literature, are accepted only exceptionally. There will also be few recensions of books. (GrKG, 1, 1960, p. 1)

GrKG are published in 4 numbers each year, with 32–48 pages per number. A special number is edited each year for the subscribers.
Price: DM 4.80 per number (and spezical number). For members of universities and schools DM 2.88. Mailing and cover of the volume (to be delivered together with the last number each year) is free for subscribers. The GrKG may be received by booksellers or directly by the publisher.
Papers should be sent to the editors. For the form of manuscript see page 3 of this cover.

Editor

Prof. Dr. Helmar Frank
Institut für Kybernetik
Berlin 46, Malteserstr. 74/100

STATISTISCHE GRAFIK

von Georg N e e s , Erlangen

Zur automatischen Erzeugung von Grafiken standen ein lochstreifengesteuerter Zeichentisch vom Typ ZUSE 64 und eine Digitalrechenmaschine S & H 2002 zur Herstellung der Steuerlochstreifen zur Verfügung. Zu studieren ist die Hervorrufung "ästhetischer Unruhe" durch statistische Streuung der Strukturparameter von Grafiken. Im hier gezeigten Fall werden die Eckpunktlagen von aneinanderhängenden Quadraten gestreut. Ist P ein Eckpunkt, so wird P in ein nach rechts und oben angrenzendes Quadrat gestreut (Bild 1). Die Streuung erfolgt mit Hilfe eines Pseudozufallsgenerators, der sich erst nach mehr als 2 hoch 30 Zufallswerten wiederholt.

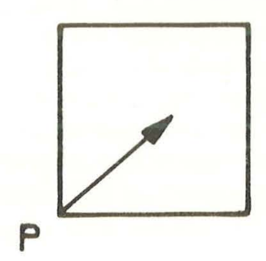


Bild 1

Zeichnerisch verzerrt wurden 39 vertikal aneinandergefügte Quadrate (Bild 2). Dabei hat das Streuquadrat (siehe Bild 1) die gleiche Größe wie die zu verzerrenden Quadrate. Das Zeichenprogramm lautet folgendermaßen:

1. Streue und speichere P_1. Für i von 2 bis 40: Zeichne die Strecke $P_{i-1}P_i$ mit gestreutem P_i und speichere P_i.

2. Für i von 1 bis 40: Zeichne die Strecke P_iQ_i mit gestreutem Q_i und speichere Q_i.

3. Für i von 2 bis 40: Zeichne die Strecke $Q_{i-1}Q_i$.

Bild 3 zeigt das Ergebnis.

Der Versuch steht im Zusammenhang einer Strukturtheorie der statistischen Grafik.

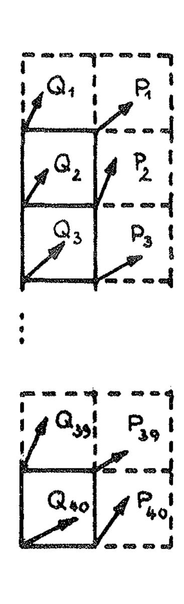


Bild 2

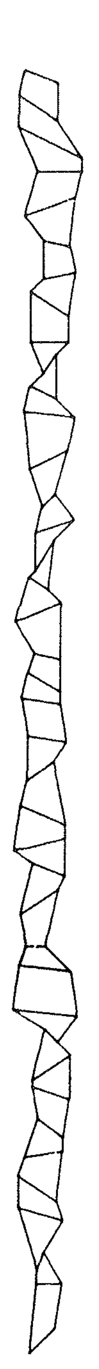


Bild 3

Eingegangen am 10. Oktober 1964

EXPERIMENTE ZUR GRUPPENENTROPIE

von Felix von Cube, Stuttgart / Berlin

§ 1 Begriff der Gruppenentropie

Der Kybernetik, speziell der Informationstheorie, ist es gelungen, den Begriff der Ordnung (Entropie) durch eine mathematische Formel darzustellen. Die Anwendung des Entropiebegriffes blieb dabei auf sogenannte "Sender" und "Empfänger" beschränkt, d.h. auf Systeme von endlich vielen Elementen, die mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten auftreten beziehungsweise erwartet werden. Tatsächlich ist der Begriff der Entropie jedoch so universal, daß er auch auf die Ordnungsgefüge sozialer Gruppen anwendbar ist, sofern die sozialen Beziehungen in irgendeiner Weise quantifiziert werden.

Dieser Sachverhalt wird aber durch die von Moreno (1954) inaugurierte Methode der Soziometrie erfüllt. Dabei werden die Individuen einer Gruppe aufgefordert, bezüglich eines bestimmten Kriteriums (z.B. des Nebeneinandersitzens) eine vorgegebene Anzahl anderer Individuen zu wählen. Eine solche Wahl kann im positiven Sinne als "Anziehung" oder im negativen Sinne als "Abstoßung" getroffen werden. Die Anzahl der Wahlen, die bei einem solchen Test ein Individuum auf sich vereinigt, gestattet einen ersten Einblick in die soziale Struktur einer Gruppe. Zur Darstellung dieser Struktur wird dabei die "soziometrische Matrix" oder das "Soziogramm" (Moreno, 1954) benützt. Da es sich bei solchen Beziehungen nicht um eine Selektion von Elementen handelt, die ein Sender vollzieht, sondern um gegenseitige Wahlen oder allgemeiner: um gegenseitige Beziehungen von Elementen untereinander, nennen wir eine auf diesem Prinzip der "gegenseitigen Elektion" basierende Interpretation des Entropiebegriffs im folgenden "elektive Entropie" (Cube/Gunzenhäuser, 1963) oder (in einer speziellen Fassung) "Gruppenentropie".

Bei der Definition der Gruppenentropie werden die Wahrscheinlichkeiten p_i beziehungsweise relativen Häufigkeiten h_i durch die normierte Anzahl der auf ein Individuum entfallenden Wahlen ersetzt. Dabei sind zwei Fälle zu unterscheiden:

a) Ist (wie bei vielen soziometrischen Tests) neben der Anzahl n der Individuen auch die Anzahl k der zu treffenden Wahlen vorgegeben und bedeutet v_i die Anzahl der von einzelnen Individuen I_i tatsächlich erhaltenen Wahlen, dann definieren wir als "Gruppenentropie" eines solchen Systems den Ausdruck

$$(1) \qquad EE = - \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \mathrm{ld}\, h_i \qquad \text{mit} \qquad h_i = \frac{v_i}{kn}$$

Das Maximum der Funktion EE ist im Gegensatz zu allen übrigen Werten von EE nur von n abhängig und wird durch $EE_{max} = \mathrm{ld}\, n$ gegeben; das Minimum der Funktion EE wird

durch ein Maximum von (n - 1)-mal und 0-mal "Gewählten" charakterisiert. Es nimmt den Wert 0 nicht an.

b) Ist keine bestimmte Wahlzahl k vorgegeben (wie z. B. bei der soziometrischen Untersuchung von Dramen), so müssen die quantifizierten Beziehungen v_i durch die Gesamtzahl der vorhandenen Beziehungen normiert werden. Da hierbei auch der Fall eintreten kann, daß nur ein Individuum "gewählt" wird, nimmt das Minimum dieser Funktion den Wert 0 an.

Um Gruppen von verschiedener Individuenzahl n und eventuell verschiedener Wahlzahl k miteinander vergleichen zu können, muß die Gruppenentropie EE auf einen reinen Zahlenwert zwischen Null und Eins normiert werden.

Die Normierung erfolgt im Fall a) durch die Formel

$$EEN = \frac{EE_{max}(n) - EE(k,n)}{EE_{max}(n) - EE_{min}(k,n)} \qquad (2)$$

und im Fall b) durch die (speziellere) Formel

$$EEN = 1 - \frac{EE}{\mathrm{ld}\, n} \qquad (3)$$

Als Beispiel diene uns eine Gruppe von n = 6 Individuen mit der vorgegebenen Wahlzahl k = 2.

Es entsteht folgender quantitativ fixierter Strukturenkomplex:

	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	EE	EEN
1	0	0	0	2	5	5	1,483	1,00
2	0	0	0	3	4	5	1,554	0,94
3	0	0	0	4	4	4	1,585	0,91
4	0	0	1	1	5	5	1,650	0,85
5	0	0	1	2	4	5	1,784	0,73
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
27	1	1	2	2	3	3	2,459	0,11
28	1	2	2	2	2	3	2,522	0,06
29	2	2	2	2	2	2	2,585	0,00

Bei der folgenden Untersuchung wurde die Wahlzahl k = 2 zugrundegelegt, d. h. die Ergebnisse wurden nach der Formel (2) ausgewertet. (Für die Durchführung der Berech-

nungen danke ich Herrn Dr. Gunzenhäuser und Fräulein Verrel vom Recheninstitut der Technischen Hochschule Stuttgart).

§2 Soziometrische Untersuchungen an 147 Berliner Schulklassen

Im Sommersemester 1964 führte ich mit Studierenden der Pädagogischen Hochschule Berlin im Rahmen meines Oberseminars "Kommunikationsforschung" eine soziometrische Untersuchung an insgesamt 147 Berliner Schulklassen durch. Sämtliche untersuchten Klassen an Sonderschulen (HS), Grundschulen (GS), Oberschulen Praktischen (OPZ), Technischen (OTZ) und Wissenschaftlichen Zweiges (OWZ) und an Berufsschulen (BS) wurden nach denselben Kriterien getestet:

1. Neben welchem Klassenkameraden möchtest Du gern sitzen? (N+)
2. Neben wem möchtest Du nicht sitzen? (N-)
3. Mit welchen beiden Klassenkameraden möchtest Du bei einer Klassenfahrt in einem Zimmer wohnen? (R+)
4. Welche zwei Mitschüler sollen nicht in diesem Zimmer wohnen? (R-)
5. Wen würdest Du zum Klassensprecher wählen? (K)

Im einzelnen handelte es sich um folgende Schulen und Klassen:

Grundschulen:

Ludwig-Heck-Schule,Tempelhof; Klassen 2b, 2c, 3b, 3c, 4b, 4c, 5a, 5b, 5c, 6b.

Kiepert-Schule, Tempelhof; Klassen 3a, 3c, 4a, 4b, 4c, 4d, 5a, 5c, 5d, 6a, 6b, 6c.

Sonderschulen:

Elisabeth-Rotten-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9a, 9b, 9c, 9d.

OPZ:

Ernst-Reuter-Schule, Wedding; Klassen 7a, 7b, 7c, 8b, 8c, 8d, 8B, 9a, 9c, $9A_1$,$9A_2$.

Isergebirgsschule, Schöneberg; Klassen $7a_1$, $7a_2$, $7a_3$, $7a_4$, $8a_1$, $8a_2$, $8a_3$, $8B_1$, $9a_1$, $9a_2$, $9a_3$.

Nikolaus-August-Otto-Schule, Steglitz; Klassen 7I, 7II, 7III, 7IV, 7B, 8I, 8II, 8III, 8 B, 9K.

OTZ:

Hugo-Gaudig-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 7c, 7d, 8a, 8b, 8c, 8d, 9a, 9b, 9c, 9d.

2. OTZ, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 8c, 9d,

Otto von Guericke-Schule, Wilmersdorf; Klassen 7a, 7b, 7c, $8s_1$, $8s_2$, $8m_1$, $8m_2$, $9s_1$, $9s_2$, $9m_1$, $9m_2$.

Rousseau-Schule, Wedding; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 8c, 9a, 9b.

OWZ:

Leibniz -Schule, Kreuzberg; Klassen 7a, 7b, 7c, 8a, 8b, 9a, 9b.

Luise-Henriette-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9m, 9s.

Eckener-Schule, Tempelhof; Klassen 7a, 7b, 8a, 8b, 9m, 9s.

Berufsschulen:

Wilhelm-Ostwald-Schule, Neukölln; 24 Klassen
Berufsschule für Augenoptiker, Schöneberg; 3 Klassen

Die Untersuchungen hatten den Zweck, die Abhängigkeit der Gruppenentropie vom Alter der Schüler, vom Bildungsgrad und von den Wahlkriterien in erster Näherung zu ermitteln. Die wichtigsten Ergebnisse sind im folgenden graphisch dargestellt, die dazugehörigen Berechnungen, die exakten Werte für EEN, sowie die Darstellung für die Klassen 7 und 8 bezüglich der verschiedenen Kriterien befinden sich an der Pädagogischen Hochschule Berlin.

§ 3 Diskussion der Versuchsergebnisse

Die Testergebnisse zeigen, daß sich die Gruppenentropie in Verbindung mit soziometrischen Tests sehr gut zur Messung sozialer Strukturen eignet. Besonders deutlich zeigt sich die Abhängigkeit der Gruppenentropie von den Untersuchungskriterien. So liegen z.B. in den Figuren 1 bis 6 die Werte für N+, N-, R+, R- und K nicht nur in ihrem Durchschnitt sehr weit auseinander; es überschneiden sich teilweise nicht einmal die Streubereiche. Überhaupt ist es erstaunlich, wie wenig die Werte für die einzelnen Kriterien streuen.

Die Gruppenentropie vermag auch relativ feine Unterschiede bei den Kriterien zu erfassen; so lassen sich beispielsweise die Kriterien N und R (in der positiven und negativen Bewertung) mit Hilfe der Gruppenentropie eindeutig auseinanderhalten. (vgl. Fig. 7, 8)

Im folgenden seien die wichtigsten Ergebnisse der Untersuchung angeführt:

1. Die Durchschnittswerte von N+ und N- sind bei allen untersuchten Klassen und Schultypen relativ konstant. Der Gesamtdurchschnitt für N+ beträgt EEN = 0,13, für N- EEN = 0,39. Der niedere Wert von N+ zeigt, daß der soziodynamische Effekt, d.h. die Abweichung von der Zufallsstruktur (Moreno, 1954) sehr klein ist; der relativ hohe Wert von N- hingegen bestätigt die These, daß die Ablehnungen innerhalb einer Gruppe sehr viel stärker differenziert sind als die positiven Wahlen. Auf eine Interpretation dieses

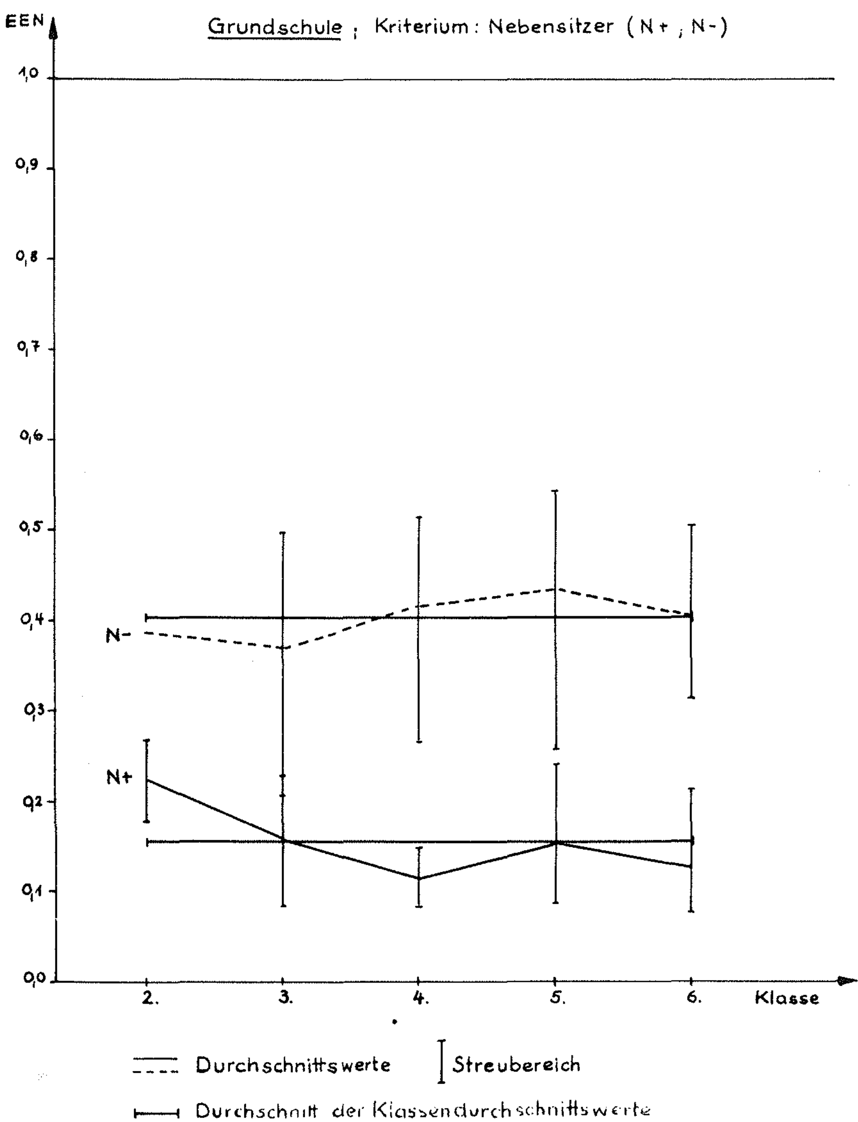

EEN
Grundschule ; Kriterium: Nebensitzer (N+ ; N-)
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
2.
3.
4.
5.
6.
Klasse
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnittswerte

Bild 1

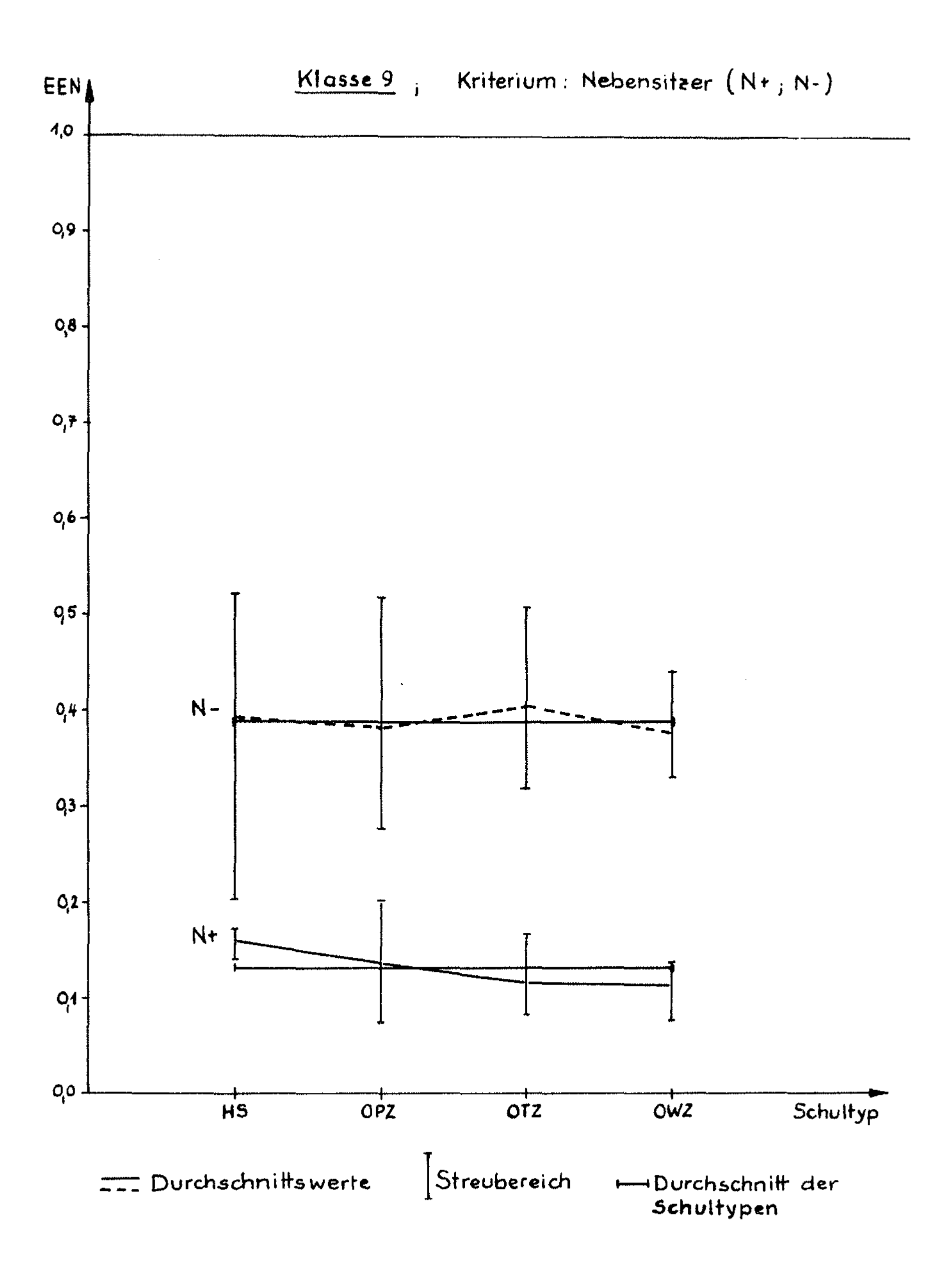

Klasse 9 ; Kriterium: Nebensitzer (N+ ; N-)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 2

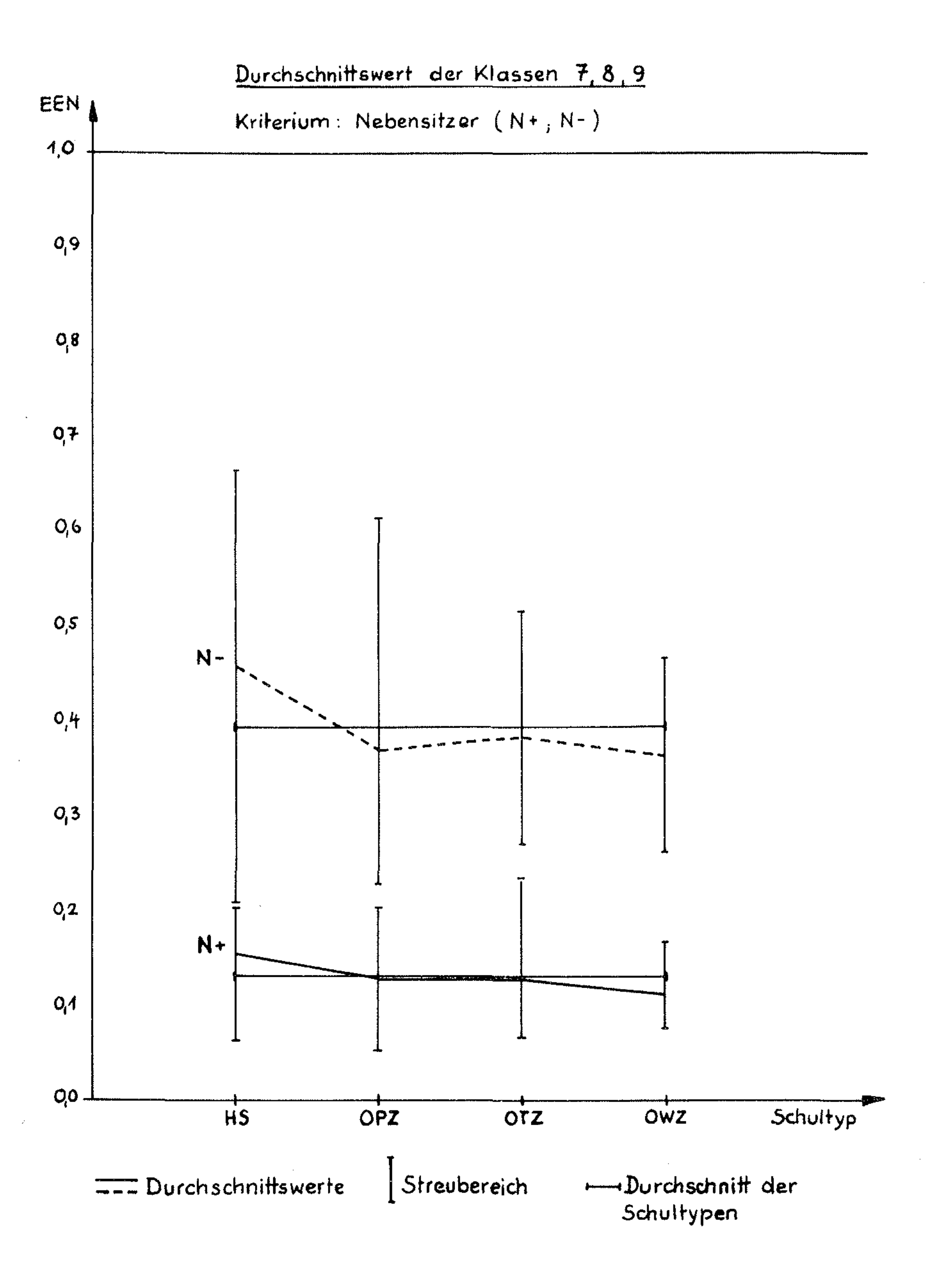

Durchschnittswert der Klassen 7, 8, 9
Kriterium: Nebensitzer (N+; N-)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
N-
N+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 3

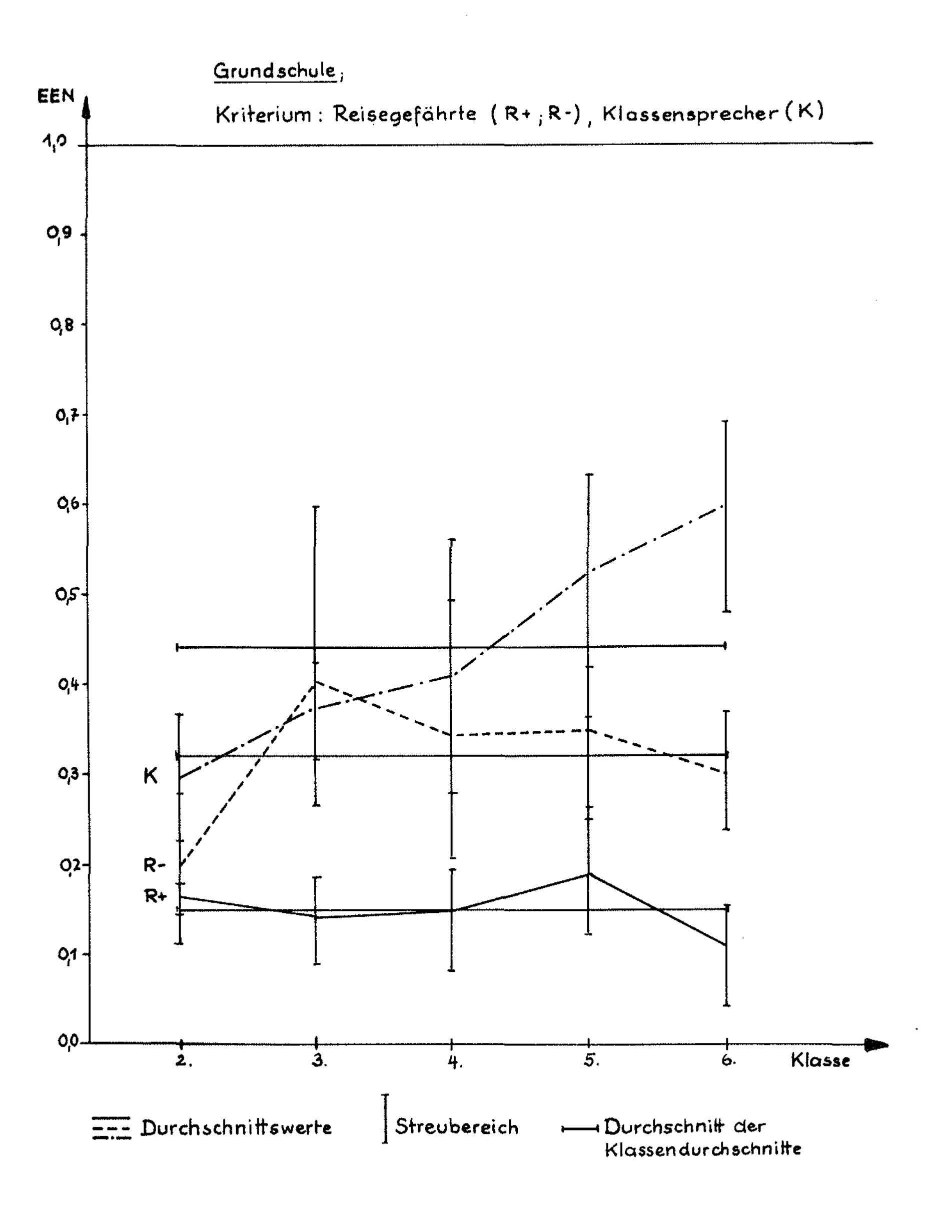

Grundschule;
Kriterium: Reisegefährte (R+; R-), Klassensprecher (K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
2.
3.
4.
5.
6.
Klasse
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnitte

Bild 4

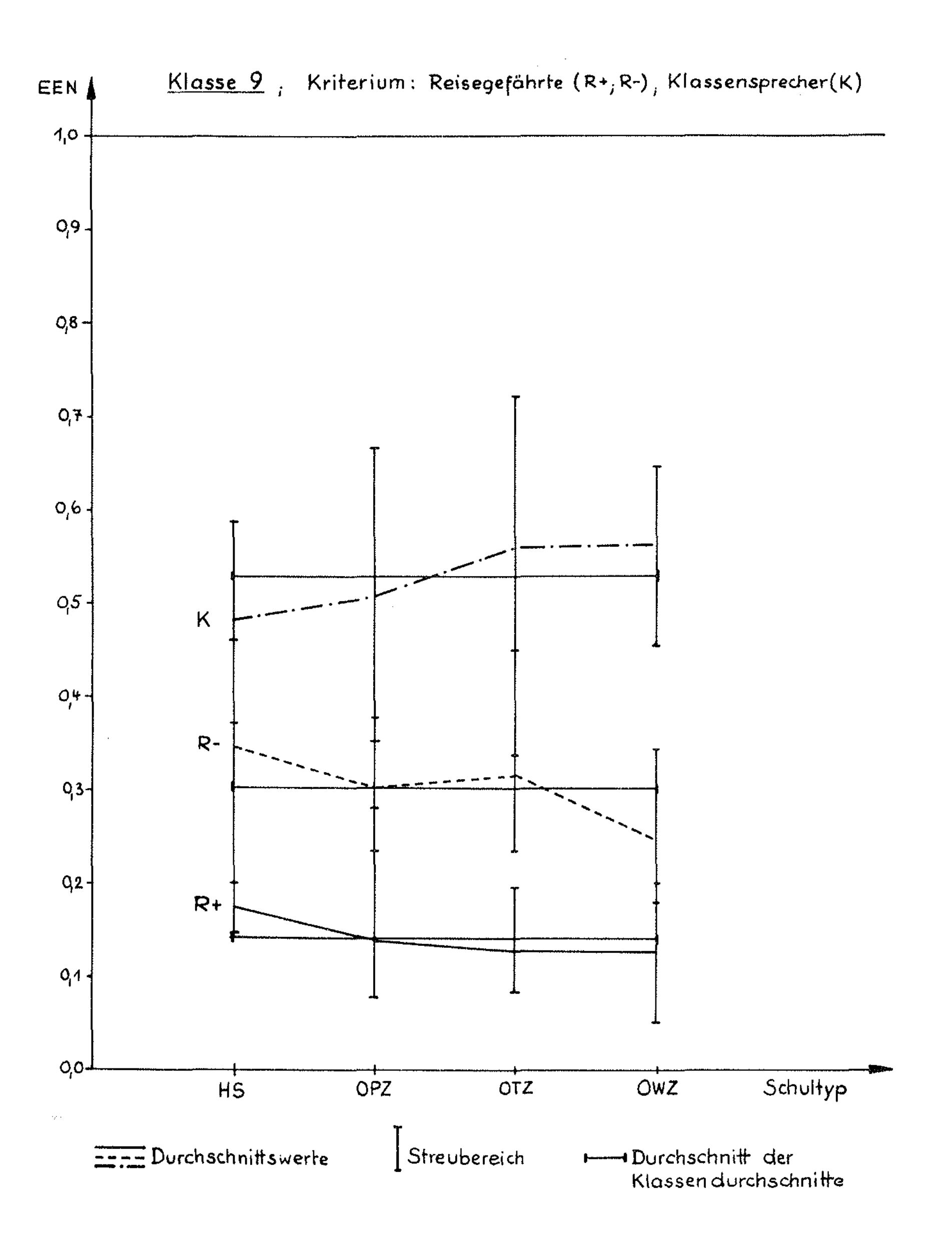

EEN
Klasse 9 ; Kriterium: Reisegefährte (R+; R-), Klassensprecher(K)
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Klassendurchschnitte

Bild 5

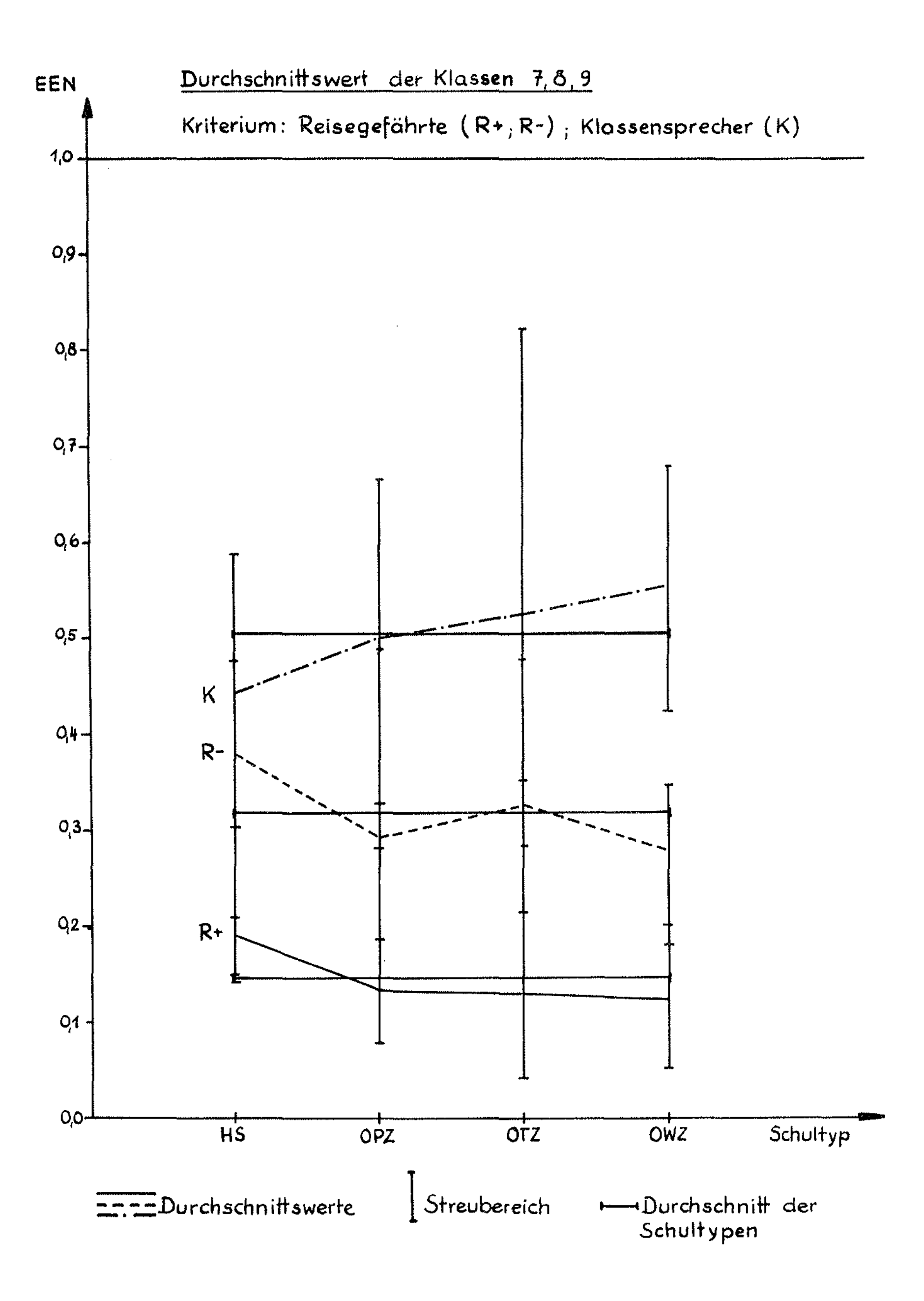

EEN
Durchschnittswert der Klassen 7, 8, 9
Kriterium: Reisegefährte (R+; R-); Klassensprecher (K)
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
K
R-
R+
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte
Streubereich
Durchschnitt der Schultypen

Bild 6

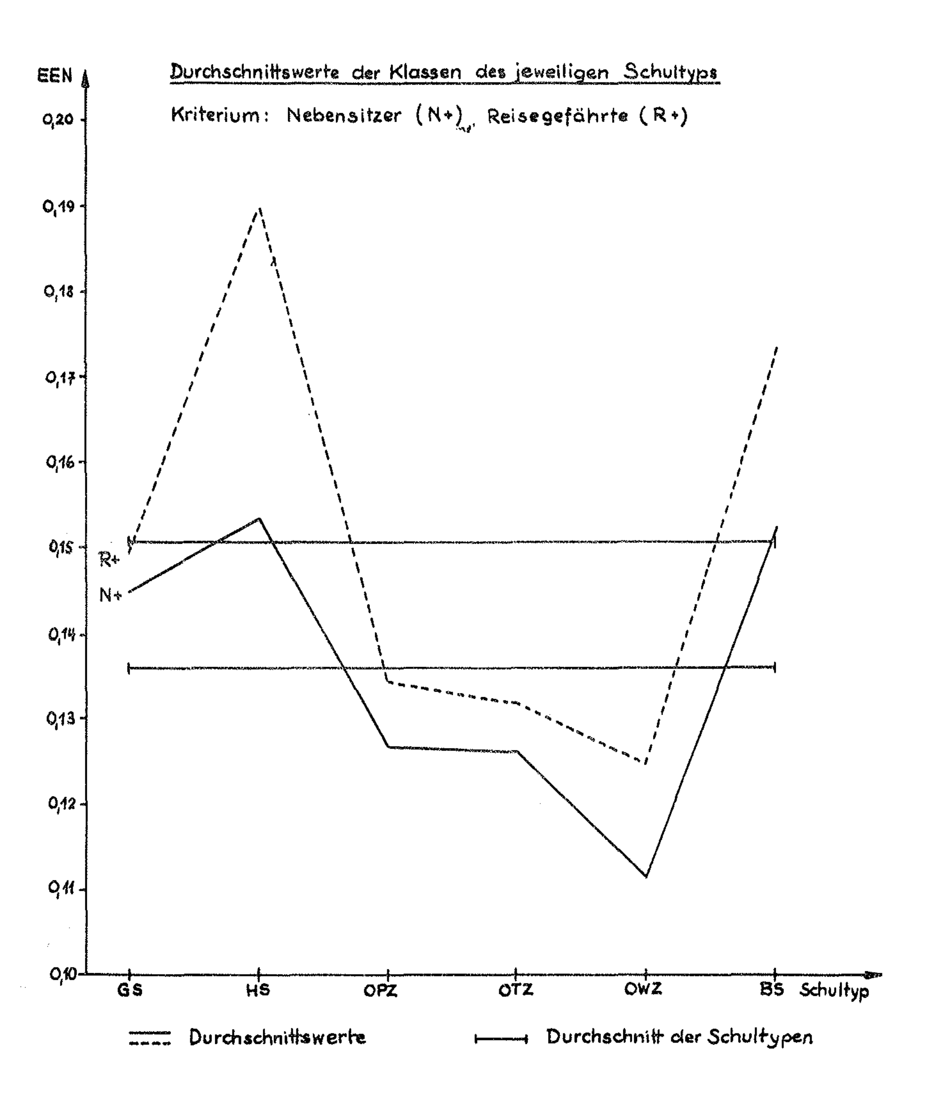
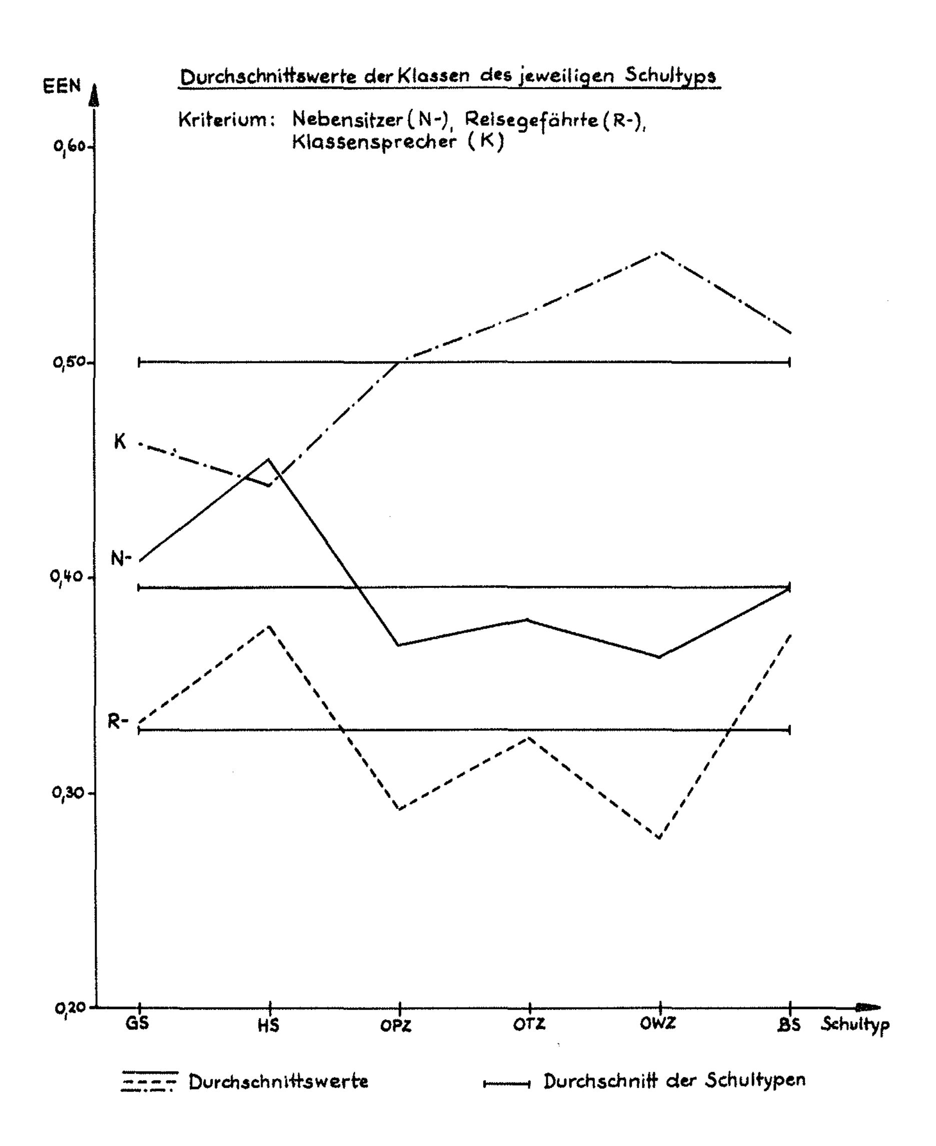

EEN
Durchschnittswerte der Klassen des jeweiligen Schultyps
Kriterium: Nebensitzer (N+), Reisegefährte (R+)
0,20
0,19
0,18
0,17
0,16
0,15
R+
N+
0,14
0,13
0,12
0,11
0,10
GS
HS
OPZ
OTZ
OWZ
BS
Schultyp
Durchschnittswerte
Durchschnitt der Schultypen

Bild 7



Durchschnittswerte der Klassen des jeweiligen Schultyps
Kriterium: Nebensitzer (N-), Reisegefährte (R-), Klassensprecher (K)
EEN
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
K
N-
R-
GS
HS
OPZ
OTZ
OWZ
BS
Schultyp
Durchschnittswerte
Durchschnitt der Schultypen

Bild 8

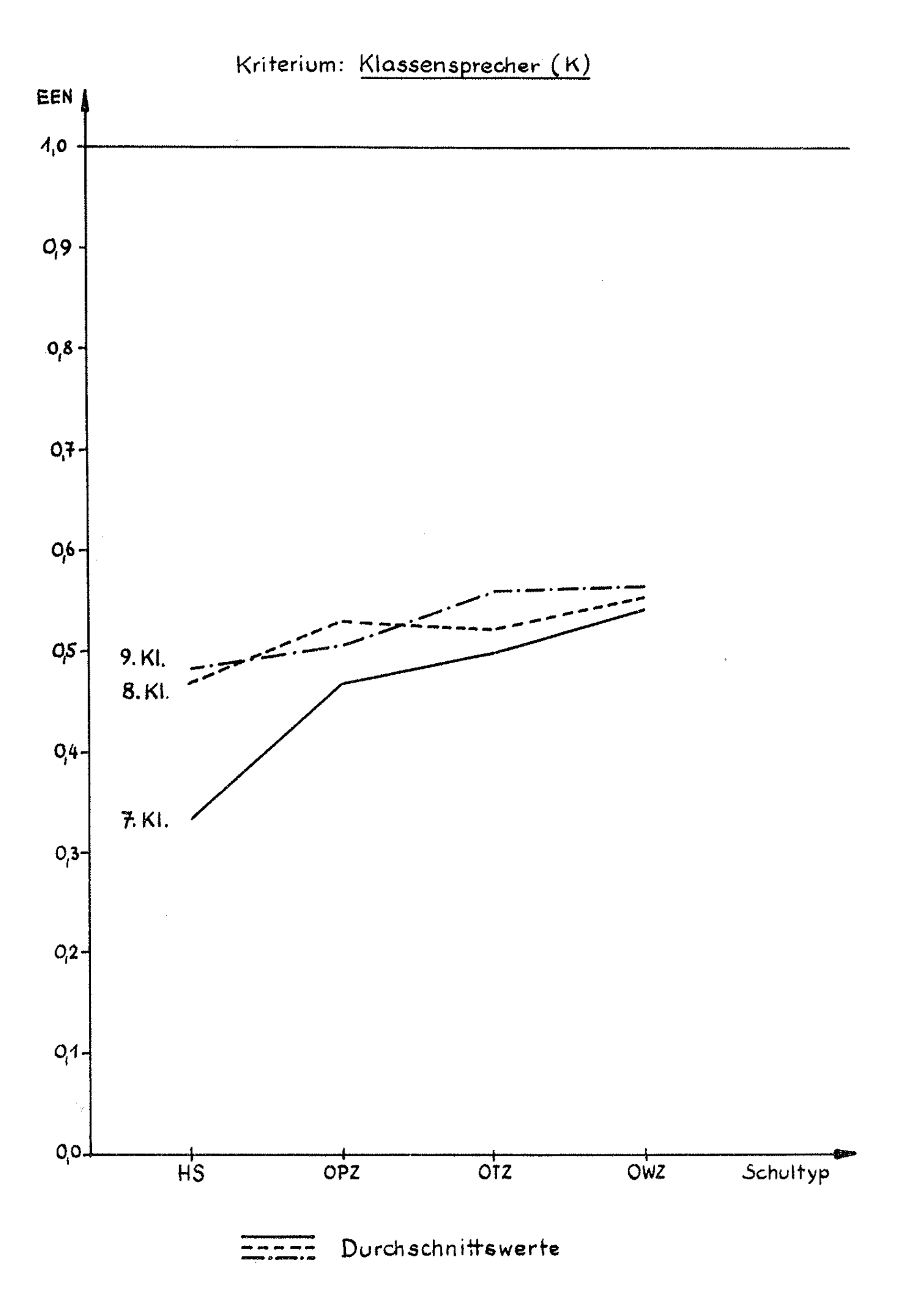

Kriterium: Klassensprecher (K)
EEN
1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0,0
9. Kl.
8. Kl.
7. Kl.
HS
OPZ
OTZ
OWZ
Schultyp
Durchschnittswerte

Bild 9

Sachverhaltes wollen wir im Rahmen dieser Arbeit nicht eingehen, es seien lediglich einige unmittelbar zu ziehende Folgerungen genannt:

Die hohe Konstanz der Durchschnittswerte von N+ und N- erlaubt eine exakte Bestimmung der "sozialen Normalität" einer Klasse bezüglich des betreffenden Kriteriums. Gewiß ist es ein gewohntes Bild, daß im allgemeinen Stars, Isolierte und Abgestoßene in einer Klasse auftreten; man konnte indessen bisher nicht angeben, welche Verteilung der Stars oder Abgestoßenen als "normal" anzusehen ist. Die vorliegende Untersuchung gibt einen vorläufigen Anhaltspunkt zur Feststellung starker Abweichungen von der "Normalverteilung" der Stars und Abgestoßenen.

Freilich bleibt die Frage offen, ob die gefundenen Durchschnittswerte vom pädagogischen Standpunkt aus ein erstrebenswertes Ziel charakterisieren. Hier müssen weitere Untersuchungen folgen, und zwar mit einer doppelten Intention: Einmal müssen Gruppen getestet werden, die man (nach irgendwelchen anderen Kriterien) als sozial optimal funktionierend bezeichnen kann, und zum andern muß untersucht werden, mit welchen pädagogischen Mitteln Strukturänderungen vorgenommen werden können.

2. Vergleicht man die Kriterien R+ und R- mit den Kriterien N+ beziehungsweise N- (vgl. Fig. 7, 8), so verläuft die Kurve R+ leicht oberhalb, aber im wesentlichen parallel zu N+, für die Kurve R- gilt dasselbe mit umgekehrtem Vorzeichen. Wir wollen auch hier auf eine Interpretation verzichten, und lediglich die Tatsache festhalten, daß die Frage nach dem Reisegefährten zu einer stärkeren Differenzierung der positiven sozialen Struktur führt, hingegen zu einer schwächeren Differenzierung der negativen Beziehungen; dies bedeutet übrigens, daß bei dem Kriterium R- insgesamt mehr Individuen abgelehnt werden, als bei dem Kriterium N-.

3. Verfolgt man den Kurvenverlauf von N+ und R+ in Abhängigkeit vom Schultyp, so ergibt sich in der Reihenfolge abnehmender sozialer Differenzierung die Reihe HS, BS, GS, OPZ, OTZ, OWZ. Die soziale Struktur der OWZ fällt dabei schon fast in den Zufallsbereich hinein. Im wesentlichen entspricht auch der Kurvenverlauf von N- und R- dieser Reihenfolge der Schultypen. (Eine Interpretation dieses Ergebnisses wollen wir in § 4 versuchen.)

4. Die soziale Struktur bezüglich des Kriteriums "Klassensprecher" ist bei weitem am stärksten differenziert. Auffallend ist dabei, daß die Differenzierung mit dem Alter und im wesentlichen auch mit dem Bildungsgrad zunimmt. Als Reihenfolge zunehmender Differenzierung ergibt sich hier HS, GS, OPZ, BS, OTZ, OWZ. Die starke Differenzierung der Struktur K ist insofern nicht verwunderlich, als für den Klassensprecher aufgrund seiner speziellen Aufgabe nur verhältnismäßig wenig Schüler in Frage kommen.

Insgesamt wird man sagen können, daß mit zunehmendem Bildungsgrad eine Tendenz zur Gleichverteilung der positiven Wahlen bezüglich des Nebensitzers zu beobachten ist, während gleichzeitig eine stärkere Differenzierung hinsichtlich des Klassensprechers

erfolgt. Hinsichtlich der negativen Wahlen läßt sich ebenfalls mit zunehmendem Bildungsgrad eine solche Tendenz feststellen, wenn auch die absoluten Werte erheblich über den entsprechenden positiven bleiben.

In diesem Zusammenhang sind die Fragen aufzuwerfen, ob man auch umgekehrt von den sozialen Strukturen einer Klasse hinsichtlich der genannten Kriterien auf deren Bildungsgrad schließen kann, und ob es eventuell Methoden gibt, von einer Änderung der sozialen Struktur her das Bildungsniveau einer Klasse zu erhöhen.

§ 4 Versuch einer Interpretation

Versucht man, die Gründe für die gefundenen Ergebnisse aufzudecken, so kann man folgende Arbeitshypothese formulieren: Die Tendenz zur Gleichverteilung der Wahlen steigt mit der Anzahl der vorhandenen Motive, d. h. je mehr Wahl- (oder Ablehnungs-) Motive existieren, desto niedriger wird EEN und umgekehrt. Gehen wir weiter von der Annahme aus, daß die Anzahl der Wahlmotive mit dem Bildungsgrad zusammenhängt, so lassen sich die Ergebnisse von einem einheitlichen Gesichtspunkt aus erklären: Beispielsweise wäre es zu erklären, daß die Kurven in Figur 7 den aufgezeichneten Verlauf nehmen; während nämlich der Hilfsschüler seine Mitschüler im wesentlichen nach den Kategorien "Freund" und "Feind" einteilt, werden beim Schüler der OWZ neben reinen Sympathie- und Antipathiebeziehungen auch andere Motive für die Wahl seines Nebensitzers relevant (z.B. gute Leistungen in irgendeinem Fach, gemeinsame Interessen, Helfenwollen, Unterhaltung usw.).

Die genannte Arbeitshypothese erklärt auch die Kurven in Figur 8: die Ablehnungen erfolgen mit zunehmendem Bildungsgrad überlegter; es finden sich mehr Motive und demzufolge verteilen sich die Ablehnungen gleichmäßiger. Ein besonders deutliches Indiz für die genannte Arbeitshypothese läßt sich aus Figur 9 erkennen: während der Hilfsschüler eher geneigt ist, seinen Freund auch als Klassensprecher zu wählen, ist sich der Schüler der OWZ über die besondere Aufgabe des Klassensprechers sehr viel mehr im klaren. Die Wahl des Klassensprechers erfolgt bei ihm aufgrund von wenigen klar erkannten Motiven.

Mit der Motivhypothese läßt sich auch eine Interpretation der Kurven R+ und R- im Verhältnis zu den Kurven N+ und N- angeben: Der Hypothese entsprechend würde es für die Wahl des Reisegefährten weniger Motive geben als für die Wahl des Nebensitzers - ein Sachverhalt, der wegen des Wegfalls verschiedener rationaler Wahlmotive durchaus plausibel ist. Das Verhältnis von N und R im negativen Bereich ergänzt diese Annahme sinnvoll: Für die Ablehnung des Reisegefährten gibt es mehr Motive als für die Ablehnung des Nebensitzers (eine Annahme, die selbstverständlich noch einer Verifizierung bedarf).

Die Hypothese von der Abhängigkeit der Gruppenentropie von der Anzahl der Wahlmotive (im negativen oder positiven Sinne) könnte auch noch von einer anderen Seite her Unterstützung erhalten: Es ist denkbar, daß sich die Anzahl der Wahlmotive in eine unmittelbare mathematische Beziehung zur Gruppenentropie setzen läßt.

Schrifttumsverzeichnis:

von Cube, Felix/ Gunzenhäuser, Rul: Über die Entropie von Gruppen, Schnelle, Quickborn, 1963

Moreno, J.L.: Die Grundlagen der Soziometrie, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen, 1954

Eingegangen am 26. November 1964

ZUR FORMALISIERUNG VON LERNBEGRIFFEN (I)

von Karl Eckel, Altenstadt

J.R.H. Deutsch (1964) vermißt in dem von Frank (1964) gegebenen Begriff des Lehrprogramms das Merkmal des Lernerfolgs. Nach Deutsch (und anderen) kann dieser mit Hilfe eines "Lernerfolgstests" "exakt" beschrieben werden.

Es soll hier versucht werden, die Begriffe: Lernzustand u. Test; Lernvorgang (Lernprozeß) u. Programm (Wirksamkeit eines Programms) formal zu definieren. Es lassen sich dann ohne Schwierigkeit ("exakte") zweckmäßige Definitionen des "Lernerfolgs" geben.

1. Der Lernzustand

Einen Lernzustand beschreiben wir auf der Grundlage eines (Test-Fragen-)Repertoires

(1) $$f = \{ f_1, f_2, \dots , f_r \} .$$

a) Der Lernzustand eines Lernenden

Zu jeder Frage gebe es eine und nur eine richtige Antwort. x_i bezeichne das Ereignis, daß f_i richtig und $\bar{x}_i$ das Ereignis, daß f_i nicht richtig beantwortet wurde. Zu jeder Frage f_i gibt es also zwei mögliche Ereignisse x_i und $\bar{x}_i$; $i = 1, 2, 3, \dots, r$. Mit Hilfe von x_i und $\bar{x}_i$ können wir bezüglich der GESAMTHEIT der Fragen (des Tests) ein VOLLSTÄNDIGES System von ELEMENTAREREIGNISSEN (Individualzuständen) X_k derart bilden, daß sich ein (jeder der) Schüler in genau einem dieser Zustände befindet. X_o bezeichne z.B. den Zustand, der dadurch bestimmt ist, daß keine Frage richtig beantwortet wird:

$$X_o = \bar{x}_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 \dots \bar{x}_r \quad ^{1)} .$$

Der Zustand, der durch die richtige Beantwortung der Fragen $f_{k_1}, f_{k_2}, f_{k_3}, \dots, f_{k_v}$ und die nicht richtige Beantwortung der Fragen $f_{k_{v+1}}, \dots, f_{k_r}$ gekennzeichnet ist,

---

1) AB = A . B heißt Produkt aus A und B und bezeichnet das Ereignis, das stattfindet, wenn sowohl A als auch B stattfindet.

wird beschrieben durch

$$x_{k_1}\, x_{k_2}\, x_{k_3} \dots x_{k_v}\, \bar{x}_{k_{v+1}}\, \bar{x}_{k_{v+2}} \dots \bar{x}_{k_r}\,.$$

Schließlich wird die richtige Beantwortung sämtlicher Fragen durch

$$X_{n-1} = x_1\, x_2 \dots x_r$$

angegeben. Insgesamt gibt es

$$n = 2^r$$

solcher Elementarereignisse oder (sich gegenseitig ausschließender) Zustände (2^r Variationen von 2 Elementen zur r-ten Klasse).
Es gilt

$$X_k X_{k'} = O \qquad (k \neq k')$$

(es findet höchstens ein Elementarereignis statt) und

$$X_o + X_1 + \dots X_{n-1} = I$$

(es findet mindestens ein Elementarereignis statt). O bezeichnet das unmögliche, I das sichere Ereignis. (Die Summe zweier Ereignisse wird interpretiert als das Ereignis, das stattfindet, wenn mindestens eins davon stattfindet.)

b) Den Lernzustand einer Gesamtheit (Population, Kollektiv) von N Lernenden (Adressaten) erhalten wir, indem wir jedem Individualzustand X_s eine Zahl

$$p_s = \frac{N_s}{N}$$

derart zuordnen, daß N_s gleich der Anzahl der Lernenden ist, die sich im Zustand X_s befinden.

$$\sum_{s=o}^{n} N_s = N; \qquad o \leq p_s \leq 1.$$

Die Gesamtheit der Zahlen p_s

$$\mathfrak{p} = \{p_o, \dots, p_n\}$$

definiert den Lernzustand der Population.

c) Bezüglich der Begriffe Anfangs- und Endzustand sei darauf hingewiesen, daß erstens - gemäß b) - alle Zustände, also auch Anfangs- und Endzustand auf derselben Menge (Anfangstest gleich Endtest!) $\{ X_o , \ldots , X_n \}$ definiert sind und daß zweitens die Termini "Anfang" und "Ende" (vorerst) nur intuitiv bestimmt sind, weil die Abhängigkeit der Zustandsgröße $\mathfrak{p}$ von der Zeit t (vorerst) außer acht gelassen wird.

2. Der Lernvorgang (Lernprozeß)

Im Lernprozeß wird ein Anfangszustand

$$\mathfrak{p} = \{ p_o , \ldots , p_n \}$$

in einen Endzustand

$$\mathfrak{p}' = \{ p_o' , \ldots , p_n' \}$$

übergeführt. Diese Überführung (oder: dieser Lernprozeß) wird beschrieben durch die Matrizen

$$P = \begin{pmatrix} P_{oo} & \ldots & P_{on} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{no} & \ldots & P_{nn} \end{pmatrix} ; \quad T = \begin{pmatrix} T_{oo} & \ldots & T_{on} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ T_{no} & \ldots & T_{nn} \end{pmatrix}$$

($T_{\mu\nu}$: Mittlere Zeit der Übergänge von X_ν nach X_μ.)

derart, daß

$$\mathfrak{p}' = \mathfrak{p} \cdot P \tag{2}$$

ist. Die Komponenten von $\mathfrak{p}'$ werden gemäß

$$p_\nu' = \sum_{\mu=o}^{n} P_{\mu\nu} \cdot p_\mu , \quad (\nu = o, \ldots , n)$$

bestimmt.

3. Zusammenhang zwischen Programm und Test

Die Grundgleichung (2) kann dazu benutzt werden, die Begriffe "Test" und "Programm"

relativ zueinander - implizit - zu definieren: Wenn

$$\mathfrak{p}' = \mathfrak{p} \cdot P$$

für alle $\mathfrak{p}$ und für alle Populationen, dann nennen wir

(I) die Menge $\{ f_1, \ldots, f_r \}$ einen "idealen" Test bezüglich P;

(II) P Matrix des "idealen" Programms - oder kurz: P-Matrix - bezüglich der Menge $\{ f_1, \ldots, f_r \}$.

4. Erläuterungen der Grundgleichung (2) an einem Beispiel:

Der Test bestehe aus lediglich einer einzigen Frage f_1, also $f = \{ f_1 \}$. Es gibt dann nur die Individualzustände $X_o = \bar{x}_1$ und $X_1 = x_1$, d.h. der Schüler beantwortet entweder die Frage falsch (oder überhaupt nicht) oder richtig.

Es sei $p_o = 50\ \%$, $p_1 = 50\ \%$; $p'_o = 25\ \%$, $p'_1 = 75\ \%$

$\mathfrak{p}$ \ $\mathfrak{p}'$	25 %	75 %
50 %	P_{oo}	P_{o1}
50 %	P_{1o}	P_{11}

Aus den durchgeführten Tests entnähmen wir weiterhin:

$$P_{oo} = 0,5, \quad P_{o1} = 0,5, \quad P_{1o} = o, \quad P_{11} = 1.$$

Die P-Matrix sieht dann so aus:

$$P = \begin{pmatrix} o,5 & o,5 \\ o & 1 \end{pmatrix}$$

Wir betrachten jetzt eine andere Gesamtheit, die dasselbe Programm durchgearbeitet hat. Der Anfangstest (der gleiche wie oben) habe den Anfangszustand $p_o = 30\ \%$ und $p_1 = 70\ \%$ ergeben. Mit Hilfe der oben bestimmten P-Matrix erhalten wir theoretisch $p'_o = 15\ \%$ und $p'_1 = 85\ \%$:

$\mathfrak{p}$ \ $\mathfrak{p}'$	15 %	85 %
30 %	1/2	1/2
70 %	o	1

Haben wir aufgrund eines tatsächlich durchgeführten Tests einen anderen als den eben berechneten Endzustand erhalten, so können wir sagen:

Erstens: $\{ f_1 \}$ ist kein Test für P (dieser Test ist zu grob: wir müssen r und damit n hinreichend groß machen)
oder:
Zweitens: P ist kein Programm für $\{ f_1 \}$ (das Programm ist "unspezifisch", zu "breit", zu "unscharf"; es hat zu wenig Lerneinheiten u.s.w.: Es muß so abgeändert werden, daß es die Grundgleichung erfüllt)
oder:
Drittens: Die Population war zu klein (wir müssen N hinreichend groß machen!)

oder:

Viertens: Obwohl Test, Programm und Population für geeignet gehalten werden, wird die Auffassung vertreten, daß die Beschreibung des Anfangszustands durch den Vektor $\mathfrak{p}$ unzureichend sei.
Lernvoraussetzungen erschöpften sich nicht in der Beschreibung eines Zustands zu einer bestimmten Zeit, man müsse auch den zurückgelegten Lernweg - die "Lerngeschichte" - berücksichtigen.

5. Zu Nr. 4, Einwand 4:

Diesem letzten Einwand kann abgeholfen werden, indem wir die "Lernvergangenheit" ebenfalls formalisieren:
Wir verlangen nicht nur die Angabe des Anfangszustands $\mathfrak{p}$, sondern darüber hinaus, daß dieser Zustand auf eine "bestimmte" Weise zustande gekommen ist. Wir fordern:

$$\mathfrak{p} = \mathfrak{p}_{-1} \, P_{-1}$$

$\mathfrak{p}_{-1}$ charakterisiert einen früheren Lernzustand und P_{-1} den Lernprozeß, der $\mathfrak{p}_{-1}$ in $\mathfrak{p}$ übergeführt hat.

Die Lernvergangenheit kann sukzessive "bestimmter" gefaßt werden, indem weitere "Programme" $P_{-2}, \ldots, P_{-k}$ "vorgeschaltet" werden.

Da das Produkt $P_{-1}, \ldots, P_{-k}$ durch eine Matrix $P_{\ldots}$ ersetzt werden kann, folgt, daß auch die Lernvergangenheit in Beziehung (2) berücksichtigt ist.

In einer weiteren Arbeit sollen

1. die hier angegebenen Begriffe mengen- und wahrscheinlichkeitstheoretisch präzisiert und Erweiterungen für $r \rightarrow \infty$, $N \rightarrow \infty$ und $k \rightarrow \infty$ angegeben werden;
2. die zeitabhängige Beziehung $\mathfrak{p}(t) = \mathfrak{p}_o \cdot \mathrm{P}(t)$ interpretiert und
3. "reduzierte" P-Matrizen und mit ihrer Hilfe "praktische" Programm-Definitionen gegeben werden.

Eingegangen am 30. November 1964

Schrifttumsverzeichnis

Frank, Helmar: Anregungen zur Terminologie auf dem Gebiet der Lehrobjektivierung. In: Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, 2, Klett-Oldenbourg, Stuttgart u. München, 1964, S. 143 ff.

Deutsch, J.R.H.: Zur "Programmierung" von Sprachlehranlagen. In: Mitteilungen über Programmierte Instruktion, 1964/ Heft 5

WAHRNEHMUNGSANALOGE METRISCHE KORREKTURMECHANISMEN

von H.-G. Geißler, Berlin

1. Einführung

Ein grundlegendes, bisher nicht effektiv simulierbares Charakteristikum menschlicher Wahrnehmung besteht in der Objekthaftigkeit des Wahrnehmungsresultates, d. i. in der Tatsache, daß alle unterschiedenen Teile und Eigenschaften einer physikalischen Konfiguration nicht isoliert "erkannt" werden, sondern uns als zu einem Ganzen, eben dem "Objekt" gehörig, zum Bewußtsein kommen. Am deutlichsten tritt das, wahrscheinlich wegen der hohen Simultaneität der ablaufenden Verarbeitungsprozesse und der dominierenden Orientierungsfunktion, im visuellen Bereich zu Tage. Notwendige (natürlich keineswegs hinreichende) Bedingungen für eine solche Struktur von Erkennungsprozessen bilden die Forderungen, daß a) die auf einer beliebigen Stufe des Vorganges an einem Objekt unterschiedenen Merkmale und Teile jederzeit "in sich" zugeordnet werden können (z.B. einem Kreis die Farbe rot) und b) alle prüfbaren Relationen miteinander verträglich sind (also z.B. die Eigenschaften "gerade" und "gleich gerichtet" zweier Linien mit den beobachteten Abstandsbeziehungen). Wir wollen beide Voraussetzungen **Zuordenbarkeit** und Konsistenz, zu denen sicher noch weitere treten, unter dem Begriff der "totalen Kohärenz" zusammenfassen.

Unabhängig von der Kenntnis effektiver Umkodierungsmechanismen, die diese Bedingungen erfüllen, kann vieles für die Vermutung angeführt werden, daß kohärente Prozesse die Existenz eines "Primärabbildes" des wahrgenommenen Objektes voraussetzen. Dieses Abbild, das Züge einer analogen Nachbildung besäße und gleichsam ein "inneres Beobachtungsobjekt" darstellte, an dem die heuristischen Prozesse der Wahrnehmung ihre "Daten" gewinnen, müßte mindestens alle unterscheidbaren Einzelheiten eines aktuellen Wahrnehmungsobjektes in unklassifizierter Form repräsentieren.

Ein Kardinalproblem, durch dessen Analyse über die Richtigkeit dieser Vorstellung wahrscheinlich einmal streng entschieden werden kann, ist die Genese der räumlich-metrischen Wahrnehmung, insbesondere ihre Readaption bei Brillenversuchen. Wir wollen im Folgenden versuchen, durch Betrachtung viel einfacherer, aber in ihrem Wesen verwandter Modellsituationen die Relevanz dieses Problembereiches für unsere Fragestellung zu bekräftigen und darüber hinaus einige heuristische Einschränkungen, denen Modelle von Wahrnehmungsprozessen genügen müssen, zu gewinnen.

2. Formulierung des Modellproblems

Technische oder mathematische Realisierung von Zuordnungsprozessen setzen bisher gewöhnlich voraus, daß der Vorgang der Abbildung auf die Eingangselemente des Systems räumlich unveränderlich ist und definierte metrische Linearitätseigenschaften besitzt (z.B. äquidistante Abtastung bei der nichtdigitalen Lernmatrix, K. Steinbuch, H. Frank

1961). Obgleich die Identifizierung von Symboldarstellungen eines geeigneten Inventars, etwa durch die Bildung von Momentinvarianten, in gewissen Grenzen auch gegen nichtlineare Transformationen unempfindlich gemacht werden kann, ergeben solche Systeme daher keine Analogie für metrische Readaptionsprozesse. Betrachtet man total kohärente Prozesse, so wirkt sich eine "Verzerrung" des Primärabbildes offenbar wie eine echte Veränderung der abgebildeten Konfiguration aus, und ohne eine dem System eingegebene (evtl. sehr allgemeine) Vorinformation ist eine Korrektur überhaupt unmöglich.

Zur Lösung dieses Problems sind gegenwärtig zwei Wege zu erkennen: Einmal ist es denkbar, daß die "richtige" Identifizierung an ausgezeichneten Konfigurationen erlernt wird. In diesem Falle würden die Korrektur-Informationen also auf einem Niveau "oberhalb" des Primärabbildes gewonnen. In statistisch homogenen Medien dürfte eine Korrektur mithin nicht stattfinden. Zum anderen wäre es möglich, daß gewisse, nichtfigurale (wahrscheinlich statistische) Eigenschaften der Musterfeinstruktur den Ausgangspunkt bilden, die Korrekturprozesse also "unterhalb" des Primärabbildes ablaufen. Wäre dies ausschließlich der Fall, so dürfte eine Korrektur bei fester Darbietung großflächiger, geometrisch-regelmäßiger Figuren nicht erfolgen. Der ersten Alternative entspricht die Hypothese J. R. Platt's (1962), die von der Prüfung sog. selbstkongruenter Muster ausgeht. Aber abgesehen von der Bedeutsamkeit, die ein ähnlicher Mechanismus für die aktuelle Detektion ausgezeichneter Konfigurationen, besonders von Geraden, vermutlich besitzen dürfte, ist vorläufig schwer zu sehen, wie eine relativ stabile Metrik innerhalb des gesamten Wahrnehmungsraumes auf eine analoge Weise konstituiert werden könnte, da (wenn man schon vom Problem der Vorinformation absieht) nur in der natürlichen Umgebung des Menschen nicht vorkommende Muster, z.B. regelmäßige Gitter, eine bis auf die Grundtoleranz des Musters eindeutige Festlegung der Metrik erzwingen.

Bei der Durchführung der Alternativhypothese kann man etwa von der Annahme homogener statistischer Textureigenschaften der abgebildeten Umgebung ausgehen und einen Zuordnungsmechanismus postulieren, der im Primärabbild die Dichtehomogenität wiederherstellt. Neben anderen Schwierigkeiten hat diese Annahme jedoch den Nachteil, daß erst eine über beträchtliche Zeiten hinweg erfolgende Mitteilung sukzessiver Situationen zu befriedigenden Ergebnissen führen könnte, während unter bestimmten (in der Umgebung des Menschen keineswegs seltenen) Bedingungen sogar ein grob falsches Korrekturergebnis zustande käme.

Wir wollen zu zeigen versuchen, daß dieser Nachteil durch eine dynamische Theorie vermieden werden kann.

3. Ein kinematischer Ansatz

Die natürliche Umgebung des Menschen zeigt außer statistischen Eigenschaften umfangreicher "Situations"-Stichproben auch strenge Regelhaftigkeiten in der Zeitabfolge von Umgebungszuständen, die zu einer Rekonstruktion ihrer Geometrie "ausgenutzt" werden

können. So darf zwar kaum angenommen werden, daß allgemeine, den Lagrange-Gleichungen entsprechende mechanische Eigenschaften in den Mechanismus der Wahrnehmung eingehen können, wohl aber eine so bedeutsame Tatsache wie die, daß die Umgebung fast ausschließlich mehr oder minder ideal starre Körper enthält. Unterstellt man zur Vereinfachung des Problems, daß 1. nur "Rezeptor"-Bewegungen stattfinden, die entsprechenden Bewegungen der gesamten "Umgebung" gleichwertig seien, 2. die Umgebung beliebig viele unterscheidbare Einzelheiten im gesamten Raum enthält, 3. der dem "Sehraum" entsprechende Bildraum eine euklidische Metrik besitzt, so kann folgendes einfache Modell betrachtet werden: Es seien x_1, x_2, x_3 kartesische Koordinaten im objektiven Raum X, y_1, y_2, y_3 im Bildraum Y. Durch

$$(1) \qquad \begin{aligned} y_i &= \varphi_i(x_1, x_2, x_3) \\ x_j &= \psi_j(y_1, y_2, y_3) \end{aligned}$$

mit stetig differenzierbaren φ_i, sei eine umkehrbar eindeutige Abbildung von X auf Y gegeben. Der Bewegung aller starr miteinander verbundenen Objekte, die jedem Punkt in X einen Geschwindigkeitsvektor $\sum n_i v_i(t)$ zuordnet, entspricht in Y das Vektorfeld

$$w(y,t) = \sum_j n_j \cdot \Big(\sum_i \frac{\partial \varphi_j}{\partial x_i} \cdot v_i(t)\Big) \equiv \sum_j n_j \Big(\sum_i \psi_{ij}(y_1, y_2, y_3) \cdot v_i(t)\Big)$$

wobei ψ_{ij} gemäß $\frac{\partial \varphi_j}{\partial x_i} = \Phi_{ij}(\psi_1(y), \psi_2(y), \psi_3(y)) \equiv \psi_{ij}(y_1, y_2, y_3)$ mit (1) zusammenhängt. Die Abweichung des Feldes von der Stationarität ist durch die Tensorfeldkomponenten

$$(2a) \qquad v_{kl}(y) = \frac{1}{2} \sum_m v_m(t) \cdot \Big(\frac{\partial \psi_{km}}{\partial y_l} + \frac{\partial \psi_{lm}}{\partial y_k}\Big)$$

und

$$(2b) \qquad r_{kl}(y) = \frac{1}{2} \sum_m v_m(t) \cdot \Big(\frac{\partial \psi_{km}}{\partial y_l} + \frac{\partial \psi_{lm}}{\partial y_k}\Big)$$

bestimmt, wobei v_{kl} ein Maß der "Verzerrungsgeschwindigkeit" darstellt. Da die Komponenten v_{kl} die Form eines Produktes aus einer reinen Zeitfunktion und einer reinen Ortsfunktion haben, ist es möglich, zeitunabhängige Ausdrücke zu bilden, die dann als Maß der Verzerrung durch die Abbildung dienen können. Hieraus ergibt sich für die Korrektur die Aufgabe, entweder die Metrik in Y oder die der Abbildung (1) entsprechende Zuordnung so zu verändern, daß der Betrag der Verzerrung beständig verkleinert wird.

Im Folgenden seien die $v_i(t)$ zur Vereinfachung des Problems im allgemeinen konstant angenommen.

4. Halbstetige und diskrete Modelle

Die gegebene Korrekturvorschrift enthält als bisher unausgesprochene Voraussetzung,

daß der Ablauf der Prozesse der Umgebung und der der "inneren" Prozesse vom gleichen objektiven Zeitparameter getragen wird, d.h. allein durch das Erhaltenbleiben der zeitlichen Metrik ist ein Prozeß-Kriterium zur "Rekonstruktion" der Geometrie der Umgebungskonfigurationen möglich. Diese Voraussetzung ist auch für das wirkliche System vernünftig, das über keine Möglichkeiten räumlicher Messungen durch "Maßstabanlegen", wohl aber über Möglichkeiten zur Detektion von Zeitbeziehungen verfügt und dessen dynamische Charakteristika sich auf die gleiche Systemzeit beziehen wie die beobachteten Prozesse (Das Problem des subjektiven Zeitmaßes als einer höheren, abgeleiteten Eigenschaft besteht selbstverständlich unabhängig hiervon).

Es scheint daher nützlich, zunächst einfache Modell-Probleme zu betrachten, in denen zeitliche Messungen effektiv zur Konstruktion räumlich-metrischer Beziehungen benutzt werden können, und diese dann Schritt für Schritt den wirklichen Verhältnissen anzuähneln. Wir wollen einige Schritte in Form von Aufgaben spezifizieren.

1. Aufgabe

Es sei folgendes eindimensionales Problem betrachtet: N simultane "Eingänge" E_1, E_2, ..., E_N seien Punkten $x_1, x_2, \ldots, x_N$ der x-Achse, die die Relation $x_1 < x_2 < \cdots < x_N$ mit festem $x_a = x_1$ und $x_e = x_N$ erfüllen, zugeordnet. Es sollen (der Ebene des Primärbildes entsprechend) weiterhin N Ausgänge $A_1, A_2, \ldots, A_N$ existieren. Vor den Eingängen E_i vorbeibewegte punktförmige Objekte sollen in den korrespondierenden Ausgängen ein momentanes Signal erzeugen. Dort sei es jeweils möglich, die Zeit zu "stoppen", die vergeht, bis das Objekt am nächsten Ausgäng "erscheint". Nehmen wir der Einfachheit halber ein einziges, mit konstanter Geschwindigkeit vorbeibewegtes Objekt an, so ist es leicht, auf höheren "Verarbeitungsniveaus" aus den gemessenen Zeitdifferenzen $\tau_i = |t_{i+1} - t_i|$ eine räumliche Metrik über den Ausgangselementen zu errichten. Für die (quasi) lokale Abstandsfunktion ergibt sich:

$$\varrho\ (A_i, A_{i+1}) = \text{const.} \cdot |t_{i+1} - t_i| .$$

Bei dem Versuch, diese Lösung zu Readaptationsprozessen der visuellen Wahrnehmung in Analogie zu setzen, zeigen sich grundsätzliche Schwierigkeiten. So müßte z.B. eine recht streng lineare "Messung" von Zeitabständen gefordert werden, zweitens müßten diese Angaben möglichst ohne Informationsverlust den höheren metrisch bewerteten Instanzen übertragen werden. Ein solcher Steuermechanismus würde aber eine ganz ungeheure Vorinformation verlangen.

2. Aufgabe

Wir führen daher folgende Abänderungen ein: Die metrische Bewertung der Ausgänge A_j (die z.B. Eingänge einer Lernmatrix sein können) sei ein für allemal, und zwar linear

festgesetzt. Dagegen sei es möglich, durch Steuerimpulse die E_i zu verschieben. Ein geeignetes festes Verhalten der zwischenliegenden Übertragungsglieder vorausgesetzt, sind alle Steuerimpulse zugelassen, die die Unterschiede zwischen den τ_k nivellieren.

Wir nehmen als einfachste Möglichkeit an, daß die abgegebenen Steuerimpulse für A_i proportional zu $\tau_{i-1} - \tau_i$ seien und $\dot{x}_i = - \varepsilon \; (\tau_{i-1} - \tau_i)$ den Zusammenhang mit der Verschiebung der A_i wiedergebe. Dann folgt für die τ_i ein System von Differentialgleichungen der Form

(3) $$\dot{\tau}_i = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_{i-1} + \tau_{i+1} - 2\,\tau_i)$$

und

(3a) $$\dot{\tau}_1 = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_2 - \tau_1)$$

(3b) $$\dot{\tau}_N = \frac{\varepsilon}{v} \cdot (\tau_N - \tau_{N-1})$$

für das erste und letzte Element, wobei v jetzt die Geschwindigkeit einer ununterbrochenen vorbeiströmenden Menge von Objekten ist. Die Differentialgleichungen sind offenbar genau diejenigen, die man bei der sogenannten Differenzengleichungsmethode zur Lösung von Wärmeleitungsgleichungen erhält. Nach einem bekannten Satz approximiert das System (3) die entsprechende partielle Differentialgleichung bei hinreichend kleinen Intervallen mit beliebiger Genauigkeit. (3a) und (3b) können durch $\tau_0 - \tau_1 = 0$ und $\tau_{N+1} - \tau_n = 0$ in die Form von (3) überführt werden, d. h. der Ausgleichsprozeß verläuft einem Wärmeleitungsvorgang analog, dessen Temperaturfunktion am Anfang und am Ende des Intervalls durch Spiegelung fortgesetzt wird.

Im korrespondierenden stetigen Fall erhält man durch Umformung bei $v = \text{const.}$

(4) $$\dot{c}(y) = k \cdot c(y)^2 \cdot \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{c(y)^2} \cdot \frac{\partial c(y)}{\partial y} \right)$$

wo $c(y)$ die eindimensionale "scheinbare" Objektgeschwindigkeit bedeutet und $\frac{\partial c(y)}{\partial y}$ der eindimensionalen Verzerrungsgeschwindigkeit proportional ist. (4) erfüllt damit ersichtlich das Prozeßkriterium des vorigen Abschnitts. Der Endzustand verschwindender Verzerrung am Ausgang des Systems wird jedoch auch dann (nach einer abgeänderten Differentialgleichung) erreicht, wenn das Objektgebiet durch eine beliebige Verzerrungsfunktion gemäß (1) auf den Eingang des Systems abgebildet wird, d. h. es findet eine Inversion dieser Abbildung statt, ohne daß die inverse Funktion während des Korrekturprozesses "explizite" im System vorläge.

Der Vorzug des vorliegenden Modells gegenüber dem der Aufgabe 1 ist offenbar prinzipiell der gleiche wie der, der jede Regelung gegenüber einer Steuerung auszeichnet, nur daß die Reduktion der notwendigen Vorinformation für einen so komplexen multi-

variablen Prozeß eine noch viel größere ist, indem lediglich Informationen aus jeweils benachbarten Elementen verarbeitet werden und auch monoton stetige Funktionen der t_i zur Einleitung des Ausgleichsprozesses hinreichen. Damit wäre auch die strenge Linearitätsforderung für die Zeitmessung beseitigt.

Zum Vergleich sei schließlich noch angemerkt, daß sich bei Brillenversuchen (I. Kohler, 1951) im Gegensatz zur motorischen Anpassung, für die ein Überschwingverhalten charakteristisch ist, bei sensorischen Readaptationen ein Verhalten fand, daß dem viskösen Breitfließen nach (3) bzw. (4) entspricht.

3. Aufgabe

Die Aufgabe 2 enthält immer noch eine Reihe von Voraussetzungen, die die Analogie zu Prozessen der Wahrnehmung stark begrenzen. U. a. wird gefordert: 1. Eine mechanische Verschiebbarkeit der Eingangselemente E_j; 2. eine strenge Ordnung der Ausgangselemente A_i; 3. die Möglichkeit, Einzelobjekte an den Ausgängen zu identifizieren und deren Flugzeit zwischen benachbarten Elementen zu messen.

Es seien jetzt einige Überlegungen angestellt, wie diese Voraussetzungen vermieden werden könnten. Dazu führen wir mit $F(x \mp s(t))$ stationäre Rauschfunktionen ein, deren zeitunabhängige räumliche Korrelation

$$K = \lim_{R \to \infty} \frac{1}{2R} \int_{-R}^{+R} F(x,t) \cdot F(x + \Delta x, t)\, d\Delta x$$

gegeben sei. Sie mögen bei ihrer Vorbeibewegung in den Eingangselementen die zeitlichen Rauschfunktionen $F(x_i \mp s(t))$ erzeugen. Es darf angenommen werden, daß sich die Musterverschiebungsgeschwindigkeit $v = \dot{s}(t)$ zwischen zwei benachbarten Eingangselementen praktisch nicht ändert, also

$$F(x_i \mp s(t)) \approx F\left[x_{i\pm1} \mp s\left(t \pm \frac{\dot{s}(t)}{x_{i\pm1} - x_i}\right)\right] \quad \text{bzw.} \quad s(t) \approx v \cdot t$$

gilt. Dann sind benachbarte Ausgangselemente dadurch "markiert", daß mit der geringsten zeitlichen Verschiebung die gleiche Rauschfunktion auftritt. Der Grundgedanke eines Zuordner-Modells ist nun der folgende: Ein geeigneter Schwellenmechanismus verbinde ein Eingangselement E_j mit einem beliebigen Ausgangselement A_i immer dann, wenn eine hinreichende Zeit lang von A_i aus rückwärts das gleiche Signal wie von E_i ausgesandt wurde. Die Diskriminationsschärfe eines solchen Mechanismus kann sehr stark erhöht werden, wenn $F(x_i \mp s(t))$ (was für Helligkeitsfunktionen in der Umgebung des Menschen zutrifft) sich vorwiegend sprunghaft ändert und nicht das Signal selbst, sondern seine Ableitung zur Bildung einer "Leitfähigkeit" γ_{ji} herangezogen wird. Wird außerdem für ein selbsttätiges Erlöschen der Leitfähigkeit gesorgt, so kann auf diese Weise jedes A_i von seinem ursprünglichen Partner getrennt und mit einem beliebigen anderen Eingangselement verbunden werden.

Um diesen Vorgang für einen selbsttätigen Korrekturmechanismus ausnutzen zu können, muß weiterhin ein Interpolationsmechanismus vorläufig unbekannter Struktur wirksam

werden (Für das biologische System folgt die Existenz eines Interpolationsvorganges daraus, daß die räumliche Sehschwelle beträchtlich unter dem durch die Sehzellendistanz gegebenen Rasterabstand liegt).

Zur Lösung eines der 2. Aufgabe analogen Problems sind nun anscheinend mindestens zwei "Zuordnungsmatrizen" notwendig. Einmal müssen die neuen Übertragungselemente für den Zeitpunkt $t + \Delta t$ "gefunden" werden (Bild 1). Dies könnte - zunächst in einem fiktiven stetigen Matrix-Modell gedacht - im Prinzip dadurch realisiert werden, daß man die Signale bzw. die differenzierten Signale mit geeigneter Verzögerung in eine Matrix Z_2 wieder einspeist. Dadurch käme es zu einer Art "Mitführung" in der Bewegungsrichtung des Musters.

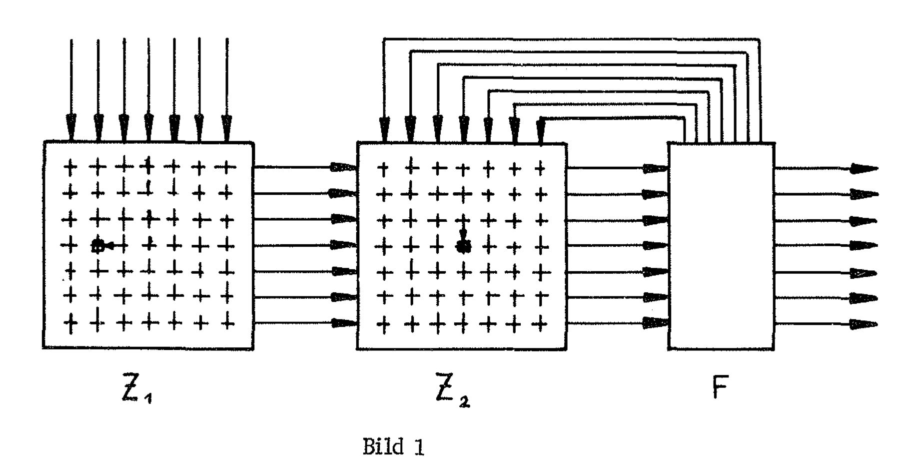


Bild 1

Zweitens müssen aber die Verbindungen zu den Eingangselementen gefunden werden, die den neuen Ausgangselementen zuzuordnen sind. Diese sind offenbar nur durch die unverzögerten Signale markierbar, können also durch dessen Eingabe in die durch Z_2 gefundenen "Übertragungselemente" in Z_1 zugeordnet werden. Für die Bemessung der "Latenzzeiten" der "Schlüsselsignale", die zur Zuordnung in Z_1 führen, könnten z.B. Netze postuliert werden, die in ihrer Struktur dem von W. Reichardt (1957) zur Erklärung der optokinetischen Wendereaktion des Rüsselkäfers herangezogenen System entsprechen. Für dieses System ist in einem gewissen Bereich ein monotoner Anstieg der Amplitude des Ausgangssignals mit der Musterverschiebungsgeschwindigkeit bekannt.

5. Diskussion der Aufgaben

Es ist zunächst klar, daß die (freilich noch ganz grob gefaßte) Problemstellung der Aufgabe 3 dem physiologischen Vorbild näherkommt, als die Aufgaben 1 und 2. Schwel-

len, Latenzzeiten, Signaldifferenzierung, Rückwirkung und schließlich zeitlich korrelative Wirkungen haben bekannte physiologische Entsprechungen. Daneben besitzt das vorgeschlagene Modell aber bereits höchst spezifische Eigenschaften, die im Experiment verifiziert oder falsifiziert werden können, von denen einige aufgezählt seien:

1. Da unter den diskutierten Bedingungen wohl eine kurzzeitige Latenz möglich ist, nicht aber eine hinreichende scharfe Signalprediktion, folgt, daß nur in denjenigen Bildfeldteilen eine Korrektur stattfinden könnte, für die eine "Mitführung" in Bewegungsrichtung eine Entzerrung bewirkt.

2. Aus einer endlichen Zeit für den Auf- und Abbau der "Leitfähigkeiten" folgt eine Toleranzverbreiterung (Verringerung der Sehschärfe) während des Korrekturprozesses.

3. Durch künstliche Bewegungsverteilungen müßten relativ dauerhafte Gesichtsfeldverzerrungen erzeugbar sein.

4. Eine Korrekturleistung müßte auch bei einer regellos optisch gegliederten Umgebung eintreten.

Eine weitergehende Betrachtung des zweidimensionalen Falles zeigt, daß die Einführung der Signalkorrelation als relevante "Auswertungsgröße" zu ähnlichen Möglichkeiten führt wie die Prüfung der Selbstkongruenz (Platt 1962) mit dem Unterschied eines ungleich größeren Informationsgewinns, indem

1. kein selbstkongruentes Muster erforderlich ist, sondern umgekehrt eine ganze Schar "virtueller" Gerader kinetisch dadurch "erzeugt" wird, daß alle Elemente, deren Signale innerhalb einer kurzen Zeitspanne miteinander korrelieren, auf Geraden lokalisiert werden;

2. keine ausgezeichnete Richtung bei Prüfbewegungen eingehalten werden muß, sondern alle Bewegungsrichtungen einen Informationsgewinn liefern;

3. ohne äquidistante Markierungen über der gefundenen Geraden eine bezüglich der abgebildeten Umgebung ausgezeichnete Metrik errichtet werden kann.

Da das von Brillenversuchen vorliegende Material im allgemeinen unter wesentlich andersartigen Gesichtspunkten gewonnen wurde, kann es verständlicherweise kaum zur Stützung der Modellvorstellungen herangezogen werden. Andererseits ist uns jedoch keine Tatsache bekannt, die in scharfem Widerspruch zu der vertretenen Auffassung stünde. Dies gilt auch für neuere psychologische Ergebnisse zum Problem der Bildererkennung, (z. B. W. D. Gleser - im Druck). Wegen ähnlich einfacher Bedingungen dürften besonders Versuche mit Kontaktlinsen (J. G. Taylor) für einen Vergleich aufschlußreich werden.

6. Zusammenfassung und Verallgemeinerung

A. In bezug auf die eingangs formulierte Fragestellung ergibt sich etwa folgendes:

1. Es scheint möglich, unter Benutzung gewisser Elementar-Eigenschaften des Nervensystems von Prozessen derFigurerkennung unabhängige metrische Zuordnungsmechanismen zu konstruieren, die ähnliche Korrekturleistungen zeigen, wie sie bei Brillenversuchen auftreten.

2. Die entsprechenden Modelle zeichnen sich gegenüber solchen, die auf komplexeren Prozessen aufbauen, vor allem durch eine Reduktion der notwendigen Vorinformation (bzw. Vororganisiertheit) und durch einen höheren Informationsfluß aus.

3. Die Wechselwirkung innerhalb dieser Modelle ist im wesentlichen lokaler Natur, d. h. zumindest der ausschlaggebende Informationsaustausch erfolgt nur zwischen (im korrelativen Sinne) benachbarten Elementen bzw. über relativ wenige Glieder hinweg.

4. Die Veränderungen der Zuordnung können bei großer Eingangs- und Ausgangszahl stetig approximiert werden, d.h. sie haben Feldcharakter.

Es sind leicht Verallgemeinerungen der vorliegenden Modelle denkbar, die außer geometrischen Umgebungsmerkmalen noch andere Eigenschaften, wie Farben, Helligkeiten, aber auch Geschwindigkeiten als gesonderte Qualitäten metrisch repräsentieren. Da sie als Ausgangspunkt total-kohärenter heuristischer Prozesse, deren Resultate "lokal" repräsentieren, wollen wir die Ebene dieses Primärabbildes als "lokal-kohärentes Niveau" bezeichnen.

Unsere eingangs entwickelte Vorstellung ist daher mit der Hypothese eines (wahrscheinlich nur funktionell definierbaren) lokal-kohärenten Abbildes der Umgebung identisch.

B. Es sei schließlich die Frage vorgelegt, auf welchem Wege man zu einem auch quantitativ zutreffenden Modell gelangen könnte. Hierbei müssen eine Reihe wesentlicher Unterschiede zwischen den Charakteristika des natürlichen Prozesses und den diskutierten Modellsituationen beachtet werden:

1. Die Readaptation der Wahrnehmung muß anstatt auf kartesische Koordinaten auf Winkelkoordinaten bezogen werden. Hieraus ergibt sich u.a. ein Fortfall der überaus künstlichen Randbedingungen.

2. Auch innerhalb der Wahrnehmung muß eine stabile momentane metrische Zuordnung durch eine "Markierung" der übertragenden Leitungselemente gewährleistet sein, wie aus der Möglichkeit einer metrischen Wahrnehmung bei tachistoskopischer Objektdarbietung folgt. Dieser Zuordnung sind jedoch die ebenfalls relativ rasch ablaufenden Prozesse der Tiefenwahrnehmung überlagert, die in ihrem Charakter den beschriebenen langfristigen Korrekturprozessen ähneln.

3. Umgebungsbewegungen und Rezeptorbewegungen sind für die Wahrnehmung ungleich-

wertig: Die wahrgenommene Umgebung ist gegenüber Rezeptorbewegungen stabil. Diese durch die propriozeptiven Systeme vermittelte Momentanleistung hängt, wie es für bedingtreflektorische Prozesse charakteristisch ist, auch von irrelevanten Bedingungen ab, unter denen die Anpassungsleistung erzielt wurde. Unter außerordentlichen Bedingungen ("Unvollständiges Signalelement" - H.-G. Geißler - im Druck -) kann es daher zu Fehlleistungen z.B. zum sog. Autokinetischen Effekt kommen.

Obgleich die Forderung einer "Stabilisierung" der "wahrgenommenen Umgebung" einen etwas allgemeineren Charakter besitzt, als die oben diskutierten Voraussetzungen, bedeutet sie keinen Widerspruch zum kinematischen Ansatz, da, wie man aus Abschnitt 3 leicht erkennen kann, im allgemeinen bei jeder nicht sprunghaften Rezeptorbewegung (Kopf- und Körperbewegungen, Triftbewegungen des Auges) Verzerrungsgeschwindigkeiten auftreten, die nicht durch propriozeptive Informationen, sondern nur auf dem Wege der "Selbstbelehrung" mit Hilfe von Musterrelationen aufgehoben werden können. Im Gegenteil scheint es sogar möglich, die Abweichung zwischen objektiver und "phänomenaler" Metrik - jetzt unabhängig von der Komplexität der beteiligten Teilprozesse - dadurch zu erklären, daß für den stationären Endzustand in der stetigen Näherung nicht ein vollständiges Verschwinden der Komponenten $v_i(y)$ und $v_{kl}(y)$ gefordert wird, sondern nur das Absinken unter eine gewisse biologisch bedingte Schwelle, d.h. die Ununterscheidbarkeit zeitlich benachbarter "Primärabbilder".

Eingegangen am 19. Dezember 1964

Schrifttumsverzeichnis

Geißler, H.-G.: Adaptive Prozesse bei der Wahrnehmung der Vertikalen als Spezialfälle psychophysischer Transformationsprozesse. Z. Psychol., 170, 1965 (im Druck)

Gleser, W.D.: Zur Analyse von Mechanismen der Bilderkennung im Wahrnehmungssystem. Symp. Kyb. Forsch. Berlin 1964 Z. Psychol., 171, 1965 (im Druck)

Kohler, J.: Aufbau und Wandlungen der Wahrnehmungswelt. Rudolf M. Rohrer-Verlag, Wien 1951

Platt, J.R.: Principles of Self-Organization, Pergamon Press Oxford, London, New York, Paris, 1962, 315 - 321

Reichardt, W.: Autokorrelationsauswertung als Funktionsprinzip des Zentralnervensystems. Naturforschg. 12b, 1957, 448-457

Steinbuch, K. / Frank, H.: Nichtdigitale Lernmatrizen als Perzeptoren. Kybernetik 1, 1961, Nr. 3

Taylor, J.G.: The Behaviorial Basis of Perception. Yale University Press, New Haven and London, 1962

ZUR MAKROSTRUKTURTHEORIE VON LEHRALGORITHMEN

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

§ 1 Begriffsbestimmungen

Der Begriff des Lehralgorithmus ist eine Spezialisierung des Begriffs "Algorithmus". Dieser Ausdruck wird mit "Rechenvorschrift" übersetzt, wobei aber entweder der Begriffsumfang auf die praktisch häufigsten, nämlich die arithmetischen Algorithmen (Quadratwurzel-Algorithmus, regula falsi etc.) eingeschränkt, oder der Begriff "Rechnen" über die Ausführung arithmetischer Operationen hinaus auch auf Operationen anderer Kalküle (Aussagenkalkül, Operationen der automatischen Sprachübersetzung etc.) angewandt wird. Eine genaue Defintion des Algorithmenbegriffs macht davon Gebrauch, daß Algorithmen von Nachrichtenverarbeitungsautomaten ausgeführt werden können (vgl. z.B. A. Müller, 1964, S. 6). Wie der Mensch vermögen diese Automaten Zeichen von festgelegten Stellen abzulesen, ihnen in definierter Weise (meist andere) Zeichen zuzuordnen, diese Zeichen an bestimmte Stellen zu setzen(anstelle eines evt. bisher dort stehenden Zeichens) und aufgrund des Erfülltseins oder Nichterfülltseins einer vorgegebenen Bedingung entweder den Lesevorgang an einer weiteren, festgelegten Stelle fortzusetzen, oder mit der Arbeit aufzuhören. Diese Arbeit wird - gleichgültig ob sie ein Mensch oder ein Automat bewältigt - "Ausführung eines Algorithmus" genannt. Sie ist ein realer Prozeß, dessen Verlauf nicht allein vom Algorithmus, sondern auch von der vorgegebenen Besetzung der besagten Stellen mit Zeichen abhängt. (Z.B. verläuft das Quadratwurzelziehen als realer Prozeß je nach dem Radikanden unterschiedlich.) Was bei alleiniger, sonst beliebiger Veränderung dieser vorgegebenen Zeichen invariant bleibt, also die Gesetzmäßigkeit im Verhalten des Systems, ist der Algorithmus. Was ein nachrichtenverarbeitendes System in den Stand setzt, einen anderen Algorithmus auszuführen als bisher, heißt "Programm". Das Programm ist also eine Beschreibung eines Algorithmus in der Sprache des diesen ausführenden Systems. Ein solches System heißt programmierbar, wenn es nicht auf die Ausführung eines bestimmten Algorithmus festgelegt ist.

Ein Lehralgorithmus ist speziell eine Gesetzmäßigkeit (ein Algorithmus), nach welcher ein Lehrsystem (Lehrer oder Lehrautomat) den von einem Lernsystem (Adressat oder lernender Automat) vorgegebenen Zeichen (Antworten, Fragen, Bitten - kurz: "Eingabebuchstaben") weitere Zeichen (Lehrquanten, Fragen, Aufrufe) zuordnet und mindestens teilweise an Stellen setzt, wo sie vom Lernsystem" abgelesen" (gehört, gesehen etc.) werden können. In genau demselben Sinne ist ein Lehrprogramm ein Spezialfall eines Programms.

Zwei Festellungen mögen hier zur Behebung zweier häufig zutage tretender Unklarheiten nützlich sein.

1. Die für die Ausführung eines Algorithmus vorzugebenden Zeichen (sogenannte Ein-

gabebuchstaben) müssen nicht alle zeitlich vor Beginn der Ausführung vorliegen. "Vorgegeben" besagt: nicht vom ausführenden System (als solchem!) erzeugt. Beispielsweise kann mit der Lösung von drei linearen Gleichungen mit drei Unbekannten schon begonnen werden, bevor die dritte Gleichung bekannt wird. Die zeitliche Überlappung der Ausführung des Algorithmus mit der Eingabe der vorzugebenden Zeichen in das ausführende System ist typisch bei Prozeßrechnern und (insbesondere) bei Lehrsystemen.

2. Man kann einen Algorithmus anwenden auf Zeichen, die man selbst vorgegeben hat, z.B. kann man algorithmisch eine selbst gestellte Aufgabe lösen. Dieses V o r g e b e n leistet man aber nicht in der Eigenschaft des Ausführers eines Algorithmus. Insbesondere kann der Adressat eines Lehralgorithmus selbst diesen Algorithmus ausführen, d.h. einen Teil der Funktionen des Lehrsystems übernehmen. Das Programm, welches den Algorithmus beschreibt, liegt dann nicht in einer Maschinensprache, sondern in der Sprache des Adressaten vor. Dies wird besonders deutlich bei verzweigten Lehrprogrammtexten (scrambled textbooks).

Die vom Lehrsystem einem Adressaten (der nicht selbst den Lehralgorithmus anwendet) dargebotenen Zeichen nennen wir "Externteile" oder "frames" $Ex(S_i)$ der Lehrschritte $S_i \in \mathfrak{S}$, wobei $\mathfrak{S}$ die Menge der Lehrschritte ist, in welche der Lehralgorithmus zerfällt. $Ex(S_i)$ ist ein Zeichenkomplex, von dessen Aufbau die Makrostrukturtheorie der Lehralgorithmen absieht; sie spricht daher auch von "Lehratomen" (Frank, 1963) und interessiert sich für deren Verknüpfungen (d.h. mögliche Aufeinanderfolgen). Vom Standpunkt der Mikrostrukturtheorie der Lehralgorithmen aus, die sich z.B. mit Informationsgehalt, Redundanz, "Begriffsfortschritt" (Anschütz, 1965) u.dgl. beschäftigt, wollen wir den Lehrschritt in vier Teile zerlegen:

1. das Urteil (über die vorangegangene, durch den Eingabebuchstaben codierte Adressatenreaktion)
2. das Lehrquant
3. die Frage (die meist ein Repertoire möglicher Antworten explizit enthält: sogenannte Auswahlmethode)
4. der Aufruf (d.h. der Befehl an den Adressaten, einen angegebenen oder einen von einer Bedingung abhängigen Eingabebuchstaben zu liefern).

Die Teile 1, 2 und 3 können bei einem Lehrschritt teilweise oder sämtlich fehlen. Der Aufruf ist (wenigstens bei topologisch-adaptiven Lehrautomaten, vgl. Frank, 1964) der unerläßliche Kern des Lehrschritts, dessen Befolgung den Übergang zu einem neuen Lehrschritt bewirkt.

Jede Adressaten-Reaktion $r_j = r(t) \in \mathfrak{R}$ auf den im Zeitintervall t-1 dem Adressaten dargebotenen Lehrschritt $S_i = S(t-1)$ bewirkt also die Darbietung des durch r_j und den Algorithmus determinierten Lehrschritts $S(t)$ im selben Zeitintervall (Bild 1). Die Folge der Eingabebuchstaben

$$r = r(1)\, r(2)\, r(3) \dots r(t)$$

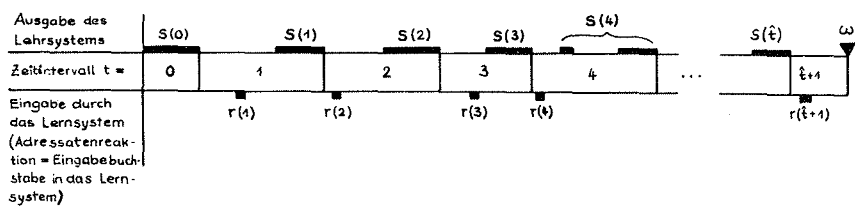


Bild 1

wird also durch den Lehralgorithmus abgebildet auf die um den Anfangsschritt S(0) längere Folge

$$S = S(0)\ S(1)\ S(2)\ S(3) \dots S(t)$$

von Lehrschritten. Wir nennen in Anlehnung an die Terminologie der abstrakten Automatentheorie r ein Eingabewort oder Reaktionswort. (Vgl. insbesondere Gluschkow, 1963. Als erster dürfte wohl Kelbert, 1964, grundlegende Begriffe der Theorie abstrakter Automaten in die Lehralgorithmentheorie, speziell in die Theorie verzweigter Lehrprogrammtexte, eingeführt haben.)

Die Menge aller Eingabewörter bildet die Eingabehalbgruppe $F(\mathfrak{R})$. Unter einem "Pfeil" oder "potentiellen Übergang" $P_{ij} \in \mathfrak{P}$ verstehen wir das geordnete Paar $S_i S_j$ von Lehrschritten S_i und S_j, die bei dem gegebenen Lehralgorithmus bei passend gewähltem Reaktionswort r aufeinanderfolgen können. Eine Folge von Pfeilen

$$W = P_{ij}\ P_{jk}\ P_{kl} \dots P_{xy}\ ,$$

wobei der zweite Schritt jedes Pfeils mit dem ersten seines Nachfolgers übereinstimmt, soll gleichbedeutend sein mit der um ein Element längeren Folge

$$W = S_i\ S_j\ S_k\ S_l \dots S_x\ S_y\ .$$

Jede dieser Verkettungsbedingung genügende Pfeilfolge ist ein Element der Menge $\mathfrak{W}$ der Lehrwege. Selbstverständlich hängt $\mathfrak{W}$ von $\mathfrak{P}$ ab: wir schreiben $\mathfrak{W}(\mathfrak{P})$. Die Länge von W ist gleich der Länge der Pfeilfolge, die diesen Weg ausmacht.

Wir können nunmehr exakt definieren:

Unter der Makrostruktur eines Lehralgorithmus verstehen wir eine Funktion φ, welche jedem Eingabewort $r \in F(\mathfrak{R})$ genau einen Lehrweg $W \in \mathfrak{W}$ zuordnet, wobei für gegebenes φ der Anfangsschritt S(o) des Wegs W unabhängig von r ist.

Ein Lehralgorithmus ist dann definiert durch

1. die (nicht notwendig geordnete) Menge $\mathfrak{S}$ von Lehrschritten S_i, von denen genau einer als Anfangsschritt ausgezeichnet ist;
2. eine Untermenge $\mathfrak{P}$ der Menge $\mathfrak{S} \times \mathfrak{S}$ aller geordneten (!) Paare $S_i S_j \equiv P_{ij}$ mit $S_i \in \mathfrak{S}$ und $S_j \in \mathfrak{S}$;
3. eine Menge $\mathfrak{R}$ von möglichen Adressatenreaktionen (Eingabebuchstaben) r_i;
4. eine eindeutige Abbildung φ der Menge $F(\mathfrak{R})$ in die Menge $\mathfrak{W}$ ($\mathfrak{P}$).

Durch (1) wird festgelegt, welche Lehrschritte dem Adressaten überhaupt darbietbar sind, durch (2), wie sie aufeinanderfolgen können, durch (3), welche Verhaltensweisen des Adressaten der Lehralgorithmus zu unterscheiden fordert, und durch (4), wie jene Aufeinanderfolge durch dieses Adressatenverhalten determiniert ist.

Nach unseren bisherigen Definitionen (vgl. insbesondere Bild 1!) erfüllt ein Lehralgorithmus der Makrostruktur φ die beiden sogenannten "Automatenbedingungen" (Gluschkow, 1963, S. 23):

1. Jedes Eingabewort $r \in F(\mathfrak{R})$ ist gleichlang wie der Weg $W = \varphi(r)$.
2. Sei $p \in F(\mathfrak{R})$ und $q \in F(\mathfrak{R})$ und bezeichne $pq \in F(\mathfrak{R})$ die durch die Folge q fortgesetzte Folge p (d. h. die Aneinanderfügung der beiden Reaktionsfolgen), dann ist $\varphi(pq) = \varphi(p)\, \varphi_p(q)$, nämlich die durch den Weg $\varphi_p(q) \in \mathfrak{W}$ fortgesetzte Folge $\varphi(p)$, wobei der Weg $\varphi_p(q)$ durch das Eingabewort $pq \in F(\mathfrak{R})$ eindeutig bestimmt ist.

Bedingung (1) besagt in unserem Zusammenhang, daß das Lehrsystem nach jedem Lehrschritt eine Adressatenreaktion abwartet. Bedingung (2) besagt, daß das Lehrsystem die Lehrschrittfolge ausschließlich in Abhängigkeit vom b i s h e r i g e n Adressatenverhalten zusammensetzt.

Die Menge $F(\mathfrak{R})$ von Eingabewörtern r wird durch die Abbildungsfunktion φ in $|\mathfrak{S}|$ Äquivalenzklassen zerlegt, wenn $|\mathfrak{S}|$ die Zahl der verschiedenen Lehrschritte (die Mächtigkeit von $\mathfrak{S}$) bezeichnet. p_1 ist äquivalent zu p_2 wenn $\varphi(p_1)$ und $\varphi(p_2)$ mit demselben Lehrschritt S_i enden. Wir nennen einen Lehralgorithmus einen Markoffschen Lehralgorithmus, wenn in der "Automatenbedingung" (2) der Fortsetzungsweg $\varphi_p(q)$ bei jedem festen q für alle äquivalenten Eingabewörter p derselbe ist. Bei einem Markoffschen Lehralgorithmus hängt also der nächste Lehrschritt nur ab vom unmittelbar vorangegangenen und von der darauf erfolgten Adressatenreaktion, d. h. die Makrostruktur φ des Lehralgorithmus vereinfacht sich bei Markoffschen Algorithmen auf eine Abbildung der Menge $\mathfrak{S} \times \mathfrak{R}$ auf die Menge $\mathfrak{P}$. Wir werden zunächst nur von Markoffalgorithmen sprechen.

§ 2 Symbolische Darstellung der Makrostruktur von Markoffalgorithmen

Die naheliegendste und zugleich anschaulichste symbolische Darstellung eines Lehralgorithmus erfolgt durch einen gerichteten Graphen. Seine Punkte repräsentieren die Lehrschritte S_i, seine Kanten S_iS_j die Pfeile $P_{ij} \equiv S_iS_j$. Bei einem Markoffschen Lehralgorithmus kann die Abbildung φ von $\mathfrak{S} \times \mathfrak{R}$ auf $\mathfrak{P}$ durch Anschreiben der verursachenden Eingabebuchstaben an die Pfeile im Graphen mit dargestellt werden (Bild 2a). Ist das Repertoire der Eingabebuchstaben geordnet, dann genügt für jedes i die Markierung von P_{i1}, d.h. des durch r_1 verursachten Übergangs, sofern man dafür sorgt, daß die zu r_1, r_2, r_3, ... gehörigen Pfeile in dieser Reihenfolge im mathematisch positiven Sinne um S_i (Bild 2b) angeordnet sind.

Dieses Graphenschema läßt sich als logisches Schema auch linear schreiben, und zwar in umkehrbar eindeutiger Weise (vgl. z.B. Thiele, 1963, S. 136-137). Als Grundzeichen verwenden wir die Zeichen S_o, S_1, S_2, S_3... für die (eigentlichen) Lehrschritte, dazu die "uneigentlichen Lehrschritte" α (Start) und ω (Stop), sowie die Sprungzeichen $\uparrow_1$, $\uparrow_2$, $\uparrow_3$, usf. Die Zeichenfolge ... $S_i S_j$ ... bedeutet dann (in vereinfachender

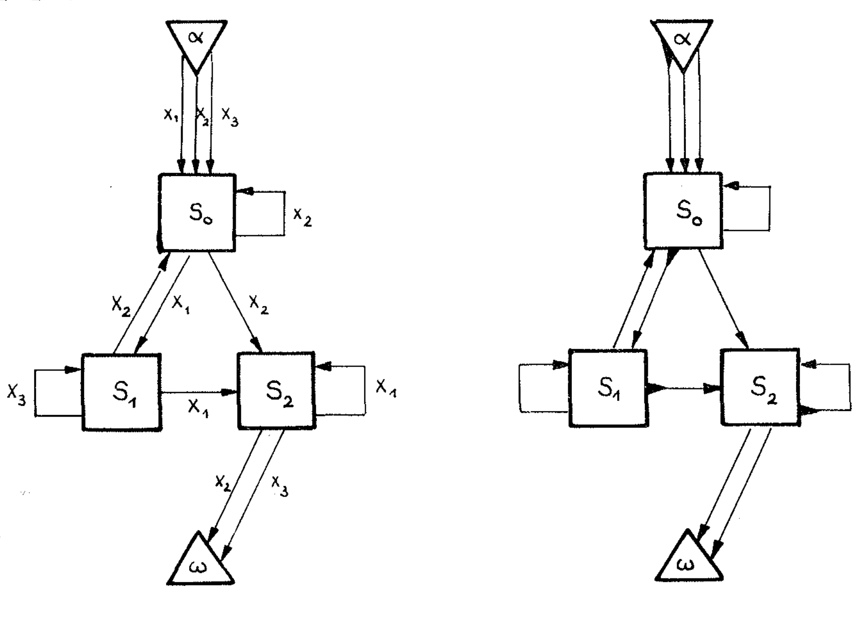


Bild 2 a

Bild 2 b

Anpassung der Thieleschen Notation an Lehralgorithmenprobleme): unabhängig vom Eingabebuchstaben r_k ist nach S_i der Lehrschritt S_j darzubieten. $S_i \underset{x}{\uparrow}\underset{y}{\uparrow} S_j$ bedeutet: auf S_i folgt S_x, falls der Eingabebuchstabe r_1 lautet, S_y, falls der Eingabebuchstabe r_2 lautet, S_j bei allen anderen Eingabebuchstaben. (Hat die Menge $\mathfrak{R}$ die Mächtigkeit u, dann können bis maximal u Sprungzeichen zwischen S_i und S_j stehen.) Eine lineare Schreibweise unseres Graphenschemas (Bild 2) lautet dann:

(1a) $$\alpha\; S_o \underset{1}{\uparrow}\underset{2}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\; S_1 \underset{2}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\underset{1}{\uparrow}\; S_2 \underset{2}{\uparrow}\; \omega$$

Eine dazu äquivalente Schreibweise ist natürlich:

(1b) $$\alpha \underset{o}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\; S_1 \underset{2}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\underset{1}{\uparrow}\; S_o \underset{1}{\uparrow}\underset{2}{\uparrow}\underset{o}{\uparrow}\; S_2 \underset{2}{\uparrow}\; \omega$$

Diese äquivalenten Schemata lassen sich natürlich auch in Matrixform darstellen, z.B. (1a) durch die Matrix L im Schema (2).

(2)

	α	S_o	S_1	S_2	ω
α	o	$r_1 v r_2 v r_3$	o	o	o
S_o	o	r_3	r_1	r_2	o
S_1	o	r_2	r_3	r_1	o
S_2	o	o	o	r_1	$r_2 v r_3$
ω	o	o	o	o	$r_1 v r_2 v r_3$

Dabei bedeutet 0 in der i-ten Zeile und der j-ten Spalte von L, daß auf S_i niemals S_j folgen kann, r_3 bedeutet, daß dieser Übergang nur durch den Eingabebuchstaben r_3 bewirkt werden kann, $r_2 v r_3$ daß sowohl r_2 als auch r_3 diesen Übergang bewirkt usf. Ersetzt man jedes von 0 verschiedene Element der Matrix L durch 1, dann entsteht aus der logischen Matrix L die Kompositionsmatrix G des Graphen. Sie gibt nur noch an, welche Übergänge möglich sind, unterdrückt aber die jeweils erforderlichen Eingabebuchstaben.

Unterscheiden sich zwei Lehralgorithmen lediglich durch die Numerierung der Schritte, dann ergibt sich die den einen beschreibende Kompositionsmatrix durch Transformation aus der den anderen beschreibenden Kompositionsmatrix. Die Transformationsmatrix T erhält man, indem man im 1-aus-u+2-Code die bisherigen Nummern in der neuen Reihenfolge untereinanderschreibt. Mit der so entstandenen Matrix T ist G von

links zu multiplizieren, das Produkt mit der gestürzten Matrix T' von rechts. Das Ergebnis ist die gesuchte Kompositionsmatrix G^*. Beispiel: S_1 und S_2 (Bild 2) sind zu vertauschen. Codewörter der alten Nummern in der neuen Reihenfolge:

$$\alpha \triangleq 10000$$
$$S_o \triangleq 01000$$
$$S_2 \triangleq 00010$$
$$S_1 \triangleq 00100$$
$$\omega \triangleq 00001$$

Damit ist

$$(3) \quad G^* = TGT' = \begin{pmatrix} 10000 \\ 01000 \\ 00010 \\ 00100 \\ 00001 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 01000 \\ 01110 \\ 01110 \\ 00011 \\ 00001 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10000 \\ 01000 \\ 00010 \\ 00100 \\ 00001 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 01000 \\ 01110 \\ 00101 \\ 01110 \\ 00001 \end{pmatrix}$$

Bezeichnet G^n das Produkt aus n Faktoren G, dann geben die Elemente $g_{ij}^{(n)}$ von G^n die Zahl der Wege mit der Länge n von S_i nach S_j an.

§ 3 Klassen von Lehralgorithmen

Abstrahiert man von den Definitionsbestandteilen (3) und (4) eines Lehralgorithmus, beschränkt man sich also auf die Menge der Lehrschritte und der Pfeile, dann verzichtet man insbesondere auf eine Unterscheidung zwischen Markoffschen und nicht-Markoffschen Lehralgorithmen. Die Makrostruktur des Lehralgorithmus ist dann umkehrbar eindeutig durch einen gerichteten Graphen darstellbar. Wir beurteilen diese Graphen nach drei distinktiven Merkmalen:

1. ein Graph ist kreisfrei, wenn $\mathfrak{W}(\mathfrak{P})$ keinen Weg W enthält, dessen erster Schritt mit dem letzten übereinstimmt. Andernfalls ist der Graph zirkulär. (Die Lehrschritte eines kreisfreien Graphen sind mindestens teilweise geordnet, d. h. es gibt eine transitive asymmetrische Beziehung $S_i \prec S_j$, die insbesondere dann erfüllt ist, wenn $S_iS_j \equiv P_{ij} \in \mathfrak{P}$.)

2. Ein Graph ist linear, wenn die Lehrschritte geordnet sind, d. h. wenn für alle $i \neq j$ entweder: $S_i \prec S_j$ oder $S_j \prec S_i$ gilt. ($S_i \prec S_i$ falls $P_{ii} \in \mathfrak{P}$). Andernfalls ist er verzweigt.

2. Ein Graph ist direktiv, wenn zu jedem Lehrschritt S_i nur ein von P_{ii} verschiedener Pfeil $S_iS_j \in \mathfrak{P}$ existiert. Andernfalls ist der Graph topologisch-adaptiv.

Von den acht kombinatorisch möglichen Graphen sind nur sechs logisch möglich. Weder ein kreisfreier noch ein zirkulärer Graph kann nämlich direktiv sein, ohne linear zu sein. Für die Lehralgorithmen, die durch die verbleibenden sechs möglichen Typen von Graphen dargestellt werden, sind in Bild 3 Bezeichnungen eingeführt.

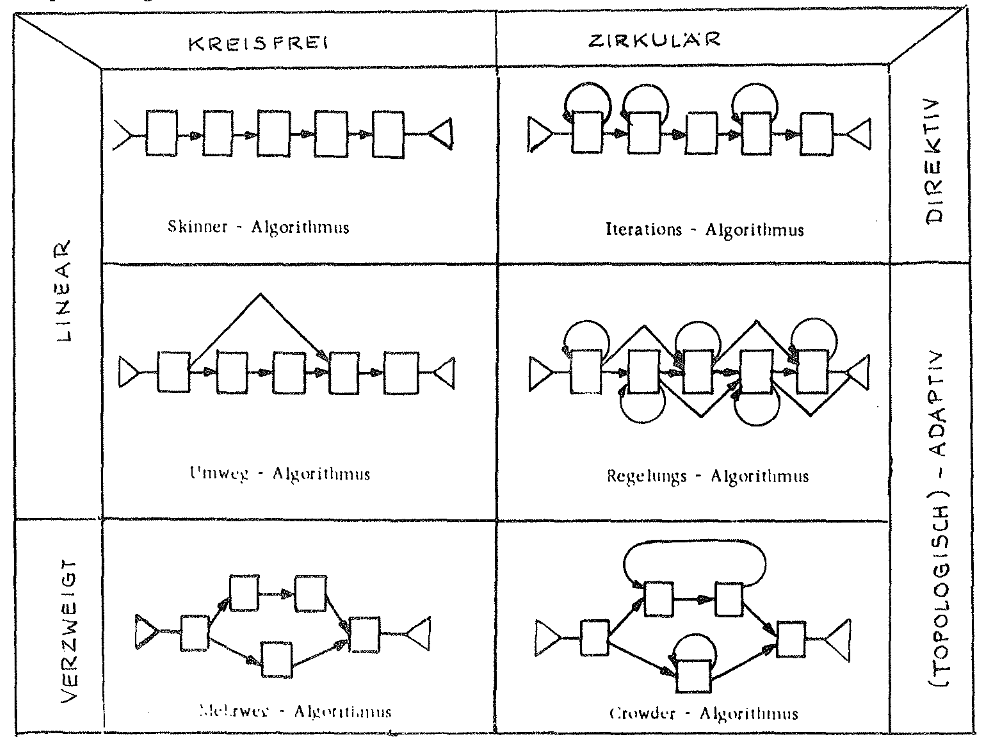


Bild 3

Für jeden Graph enthält $\mathfrak{W}$ mindestens einen Weg kürzester Länge, aber nur für die kreisfreien Graphen auch einen Weg größter Länge. Bezeichnet man mit $n(S_i) = n_i$ den Erwartungswert der Zahl der Zeitintervalle t, in welchen einem Adressaten beim Durchlaufen des Lehralgorithmus der Lehrschritt S_i dargeboten wird (sogenannte Schrittnutzung), dann ist n_i bei zirkulären linearen Algorithmen für mindestens ein i größer als 1, bei kreisfreien linearen Algorithmen stets kleiner als oder gleich 1, und zwar beim Skinner-Algorithmus stets gleich 1, beim Umwegalgorithmus für mindestens ein i kleiner als 1.

(Die Arbeit verschiedener Adressaten mit demselben Lehralgorithmus kann u. a. gemessen werden durch die Zahl $\hat{t}_{eff}$, der effektiv benutzten Zeitintervalle verglichen mit deren Erwartungswert

$$M(\hat{t}) = \sum_{i=0}^{|\mathfrak{S}|} n_i \quad .) \tag{4}$$

§ 4 Darstellbarkeit von Lehralgorithmen in Lehrautomaten

In der Theorie abstrakter Automaten (insbesondere Gluschkow, 1963) wird unterschieden zwischen Mealy-Automaten und Moore-Automaten, wobei der Moore-Automat als Spezialfall des Mealy-Automaten angesehen werden kann.

Der Mealy-Automat ist definiert durch drei nichtleere Mengen: $\mathfrak{A}$ (die Menge der Automatenzustände), $\mathfrak{R}$ (die Menge der Eingabebuchstaben) und $\mathfrak{Y}$ (die Menge der Ausgabebuchstaben), sowie durch die Überführungsfunktion $\delta(a_i, r_j)$ und die Ergebnisfunktion $\lambda(a_i, r_j)$.

$\delta(a_i, r_j)$ ordnet zu jedem zuletzt eingenommenen Automatenzustand a_i aufgrund eines Eingabebuchstaben r_j den als nächsten einzunehmenden Automatenzustand zu, bildet also die Menge $\mathfrak{A} \times \mathfrak{R}$ in die Menge $\mathfrak{A}$ ab:

$$a(t) = \delta(a(t-1), r(t)). \tag{5}$$

$\lambda(a_i, r_j)$ ordnet denselben unabhängigen Variablen das nächste Ausgabesignal zu, bildet also $\mathfrak{A} \times \mathfrak{R}$ in $\mathfrak{Y}$ ab:

$$y(t) = \lambda(a(t-1), r(t)). \tag{6}$$

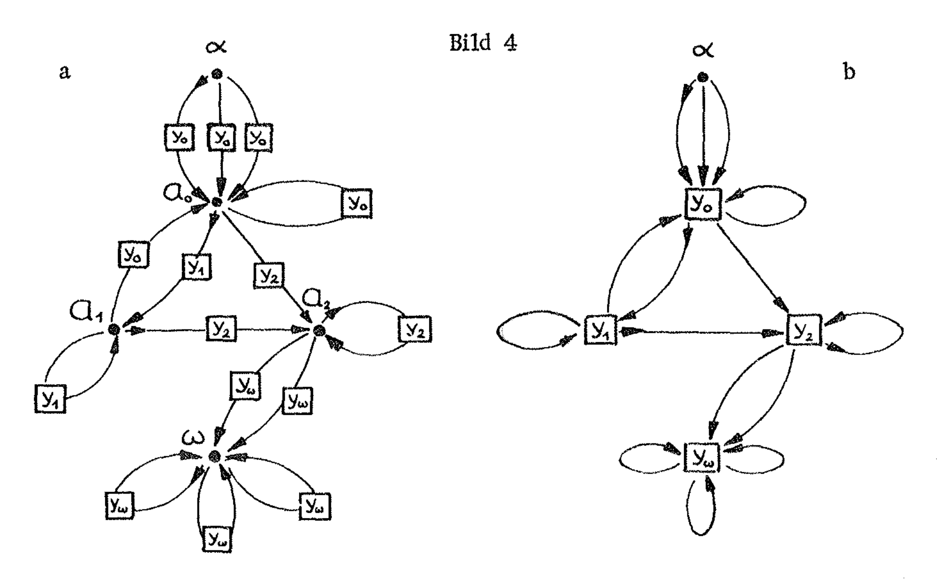
Man kann die Automatenzustände als Punkte eines gerichteten Graphen, die Übergänge als dessen Kanten symbolisieren, die Menge der Kanten gemäß der δ-Funktion auf $\mathfrak{Y}$ abbilden und an jeder Kante ihren jeweiligen Bildpunkt y_k eintragen (Bild 4 a; die Eingabebuchstaben sind entsprechend zu Bild 2 b symbolisiert). Die Anzahl der Kanten beträgt $|\mathfrak{A}| \cdot |\mathfrak{R}|$, also gibt es höchstens ebensoviele verschiedene Ausgabesignale des Automaten. Selbstverständlich können zwei verschiedene Kanten auf dasselbe Ausgabesignal abgebildet sein, es kann also $y_k = \lambda(a_i, r_j)$ für zwei verschiedene Paare (a_i, r_j) denselben Wert annehmen. Stimmt insbesondere $y_k = \lambda(a_i, r_j)$ für alle die Paare (a_i, r_j) überein, die dasselbe $\delta(a_i, r_j)$ liefern, ist also für jeden Punkt des Graphen an jede auf diesen Punkt zuführende Kante dasselbe y_k eingetragen (Bild 4 a!), so daß

$$y_k = \lambda(a_i, r_j) = \mu(\delta(a_i, r_j)) \quad \text{oder} \tag{7 a}$$

$$y(t) = \lambda(a(t-1), r(t)) = \mu(\delta(a(t-1), r(t)) = \mu(a(t)) \tag{7 b}$$

gilt, der Ausgabebuchstabe also eine Funktion des neuen Automatenzustands ist, dann können die Eintragungen von y_k auf den Zielpunkt der Kanten zusammengeschoben werden, d. h. die Ausgabesignale sind ebenfalls durch die Punkte des Graphen symbolisiert (Bild 4 b).

Bild 4



Ein Mealy-Automat, für welchen diese spezielle Bedingung (7a, b) gilt, heißt Moore-Automat.

Nimmt man zu den Lehrschritten eines Markoffschen Lehralgorithmus die uneigentlichen Lehrschritte α und ω (Anfangs- und Endzustand) hinzu, dann kann das den Lehralgorithmus ausführende Lehrsystem stets durch einen Moore-Automaten realisiert werden, für welchen

$$(8) \qquad \mathfrak{Y} \equiv \mathfrak{S} \cup \{\alpha, \omega\}$$

ist (vgl. Bild 4b mit 2b!). Beispielsweise ist der Lehrautomat Autotutor Mark II als ein konkreter Moore-Automat aufzufassen, dessen Zustände a_i die möglichen Positionen des Filmbandes sind, denen der gleichzeitig dargebotene Lehrschritt durch Projektion des im Lichtweg befindlichen Filmbildes fest zugeordnet wird. (Es handelt sich hier also - wie praktisch bei allen Lehrautomaten - um einen programmierbaren Automaten im Sinne von § 1.) Die Eingabebuchstaben sind die möglichen Tastendrücke.

Da der Moore-Automat ein Spezialfall des Mealy-Automaten ist, wird man fragen, ob Lehralgorithmen denkbar sind, die dem Mealy-Automaten entsprechen. Dies ist der Fall. Bei jedem zirkulären Lehralgorithmus sind Lehrquanten möglich, die sowohl durch richtige Reaktion auf einen Lehrschritt S_i als auch durch falsche Reaktion auf einen Lehrschritt S_j erreicht werden können. Da das Urteil (also der erste Teil des neuen Lehrschritts) nun jeweils verschieden sein muß, liegen nach der in § 1 gegebenen Definition zwei verschiedene Lehrschritte vor, die jedoch in Lehrquant, Frage und Aufruf überein-

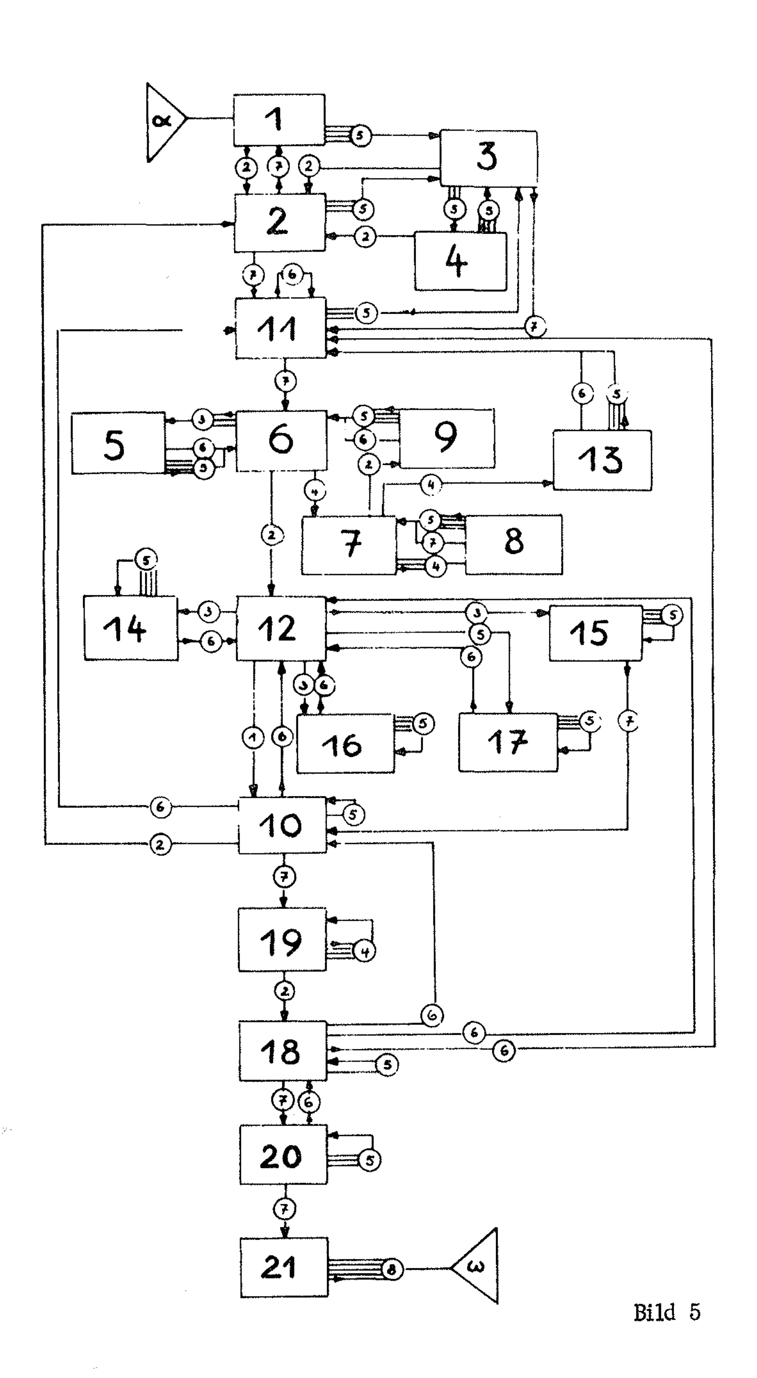


Bild 5

stimmen und insofern demselben Automatenzustand entsprechen, als ihre potentiellen Übergänge zu denselben nächstmöglichen Lehrschritten führen. Die Lehrschritte sind also nicht durch die Punkte, sondern durch die Kanten des die Lehrautomatenfunktion beschreibenden Graphen bestimmt; dieser Lehrautomat ist ein Mealy-Automat. Ein Beispiel dafür ist der Geromat II (Frank und Müller, 1964). Er trennt das Urteil vom Externteil des Lehrschritts ab. Der verbleibende "reduzierte" Externteil $Ex^{-}(S_i)$ entspricht dem Automatenzustand (Tonbandposition), das Urteil wird zuvor - aber im selben Zeitintervall - über ein Sofortanzeigefeld ausgegeben (vgl. S(4) in Bild 1!). Das Urteil kann in die Kanten des Graphen z.B. in einem kreisförmigen Feld eingetragen werden (Bild 5).

Nach einem Satz der abstrakten Automatentheorie (z.B. Gluschkow, 1963, S. 18) gibt es jedoch zu jedem (endlichen) Mealy-Automaten einen ihm äquivalenten (endlichen) Moore-Automaten. Dieser Sachverhalt leuchtet bei Lehrautomaten unmittelbar ein: es genügt, alle in einem Mealy-Automatenprogramm vorkommenden Kombinationen von Urteilen und reduzierten Lehrschritt-Externteilen als je ein Lehrschritt einem Zustand eines Moore-Automaten zuzuordnen. Da jeder Lehralgorithmus nur e i n e n möglichen Anfangsschritt S_o enthält, ist die Zahl der möglichen Kombinationen um 1 zu erhöhen, sie beträgt also wie man leicht einsieht

$$(9) \qquad |\mathfrak{S}| = |\mathfrak{A}_{MOORE}| \leq |\mathfrak{A}_{MEALY}| \cdot |\mathfrak{R}| + 1 \; .$$

Da die Automatenzustände bei Lehrautomaten im wesentlichen den Speicherzellen, also z.B. beim Autotutor Mark II den Bildern auf dem Filmstreifen entsprechen, könnte z.B. ein aus 21 verschiedenen reduzierten Externteilen bestehender Lehralgorithmus, der mit 21 Zuständen des Mealy-Automaten Geromat II ausführbar ist ($|\mathfrak{R}| = 5$ Antworttasten), auch durch höchstens 106 Zustände des Moore-Automaten Autotutor Mark II ausgeführt werden, wenn nicht die Lehrschritte auf dem Informationsträger linear angeordnet also im Prinzip numeriert sein müßten, und der endliche Aufwand bei der technische Realisierung der Überführungsfunktion $\delta\ (a_i, r_j)$ Schranken setzte. Diese Schranken lassen sich bei jedem konkreten Lehrautomaten in Form von Kriterien für die Darstellbarkeit einer Kompositionsmatrix G in diesem Automaten präzisieren. Es bleibt dann zu untersuchen, ob eine nicht darstellbare Matrix G auf eine darstellbare Matrix G* desselben Algorithmus mit umnumerierten Lehrschritten transformierbar ist (vgl. § 2).

Abschließend sei das Problem der Darstellbarkeit der nicht-Markoffschen Lehralgorithmen aufgeworfen. Zwar läßt sich in Anwendung eines bekannten Theorems der abstrakten Automatentheorie (z.B. Gluschkow, 1963, S. 25) sofort nachweisen, daß auch jeder nicht-Markoffsche Lehralgorithmus, der die in § 1 genannten beiden Automatenbedingungen erfüllt, von einem Mealy-Automaten ausgeführt werden kann. Jedoch ist dieser Automat nicht notwendig endlich, also insbesondere nicht immer realisierbar. Der Mensch als Lehrer wendet aber, soweit er nicht überhaupt ein stochastisches System ist,

nicht-Markoffsche Lehralgorithmen an. (Versagt z.B. ein Schüler am Ende des i-ten Schuljahres, dann wiederholt er oder muß ausscheiden, je nachdem, wie oft er dieses Schuljahr schon durchlief! Entsprechendes gilt für den Lehralgorithmus "Logarithmieren" von Berger und Frank, vgl. Berger, 1963.) Aufgrund der Endlichkeit der Speicherkapazität des menschlichen Gedächtnisses kann aber vermutet werden, daß diese Lehralgorithmen endlichen Rückgriff haben, d.h. daß die Zuordnungsfunktion $\varphi_p(q)$ der zweiten Automatenbedingung nur von den letzten g Buchstaben des Eingabewortes p abhängt. Damit gibt es aber (und das kann aus unserer endlichen Gedächtniskapazität sogar mit Sicherheit gefolgert werden) nur noch endlich viele verschiedene Funktionen $\varphi_p(q)$, und diese sind durch dieselbe Anzahl von Automatenzuständen darstellbar. Der Externteil eines Lehrschritts muß nun verschiedenen Punkten in einem Graphenschema zugeordnet werden, wenn der Übergang zum nächsten Lehrschritt außer von der augenblicklichen Adressatenreaktion auch noch von den g vorangegangenen abhängt. Die Übergangsfunktion δ zum nächsten Lehrschritt bildet beim Moore-Automaten den Internteil $In(S_i)$ eines Lehrschritts S_i. Sieht man Lehrschritte gleichen Externteils aber verschiedenen Internteils als verschieden an, dann gehen nicht-Markoffsche Lehralgorithmen von endlichem Rückgriff in Markoffsche über und sind mit denselben Automaten wie diese ausführbar. Der Wunsch nach "lernfähigen"(Lehr-)Automaten ist also im Prinzip ohne Neukonstruktionen zu erfüllen, indem man schon vorhandene programmierbare "gewöhnliche"(Lehr-)Automaten zur Ausführung nicht-Markoffscher (Lehr-)Algorithmen programmiert.

Eingegangen am 13. Dezember 1964

Schrifttumsverzeichnis

Anschütz, Herbert: Über die Verteilung der semantischen Information in Lehrprogrammtexten (erscheint GrKG 6/1, 1965)

Berger, Manfred: Universal-Rechenautomaten als Lehrmaschinen. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, I. Klett u. Oldenbourg, Stuttgart u. München, 1963, S. 27-35

Frank, Helmar: Kybernetik und Lehrmaschinen, in H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, I". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1963, S. 13-26

F r a n k, Helmar: Anregungen zur Terminologie auf dem Gebiet der Lehrobjektivierung. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 143-151

F r a n k, Helmar, M ü l l e r, Georg: Ein adaptiver Lehrautomat für verzweigte Programme. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 81-87

G l u s c h k o w, W. M.: Theorie der abstrakten Automaten, Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin 1963, 103 S.

K e l b e r t, Heinz: Kybernetisches Modell der Abarbeitung eines programmierten verzweigten Lehrbuchs. In H. Frank (Hsg.) "Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II". Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1964, S. 49-72

M ü l l e r, A. (Hsg.): Lexikon der Kybernetik, Verlag Schnelle, Quickborn, 1964, 224 S.

T h i e l e, Helmut: "Klassische" und "moderne" Algorithmenbegriffe. In: Mathematische und physikalisch-technische Probleme der Kybernetik, Akademie-Verlag, Berlin, 1963, S. 111 - 146

KYBERNETISCHE METHODEN DER DRAMENFORSCHUNG

von Waltraud Reichert, Berlin

1. Die elektive Entropie und ihre Anwendung auf Dramen

Der Begriff der Information oder Entropie, wie er durch Shannon und Wiener (1948) als mathematischer Ausdruck erklärt wurde, war zunächst auf die Nachrichtentechnik beschränkt. Er fand also lediglich Anwendung bei einer endlichen Zeichenmenge, deren Elemente z_i mit bestimmten relativen Häufigkeiten (h_i) beziehungsweise Wahrscheinlichkeiten (p_i) gesendet beziehungsweise erwartet werden. Da es sich jedoch um einen allgemeinen Strukturbegriff handelt, kann er überall dort eine Ordnungsstruktur charakterisieren, wo irgendwelche Elemente mit bestimmten relativen Häufigkeiten belegt werden. Einen möglichen Anwendungsbereich stellen soziale Gruppen und die Beziehungen ihrer Individuen zueinander dar, wenn man die von Moreno (1954) angewandte Methode der Soziometrie zugrundelegt. Hierbei sollen die Individuen einer Gruppe (beispielsweise einer Schulklasse) nach einem bestimmten Kriterium (z.B. Klassensprecher, Nebensitzer) eine vorgegebene Anzahl anderer Individuen der Gruppe wählen.

Die Anzahl der Wahlen, die ein Individuum erhält, normiert durch die Gesamtzahl der abgegebenen Wahlen, ist die relative "Wahlhäufigkeit". Der Unterschied zur Nachrichtentechnik, wo von einem Sender aus einem vorgegebenen Repertoire einzelne Zeichen ausgewählt werden (Selektion), besteht darin, daß die Elemente sich hier gegenseitig wählen (Elektion). Daher wird die Shannonsche Entropie in diesem Fall als "elektive Entropie" interpretiert (Cube/Gunzenhäuser, 1963). Ist n die Anzahl der Individuen, k die Anzahl der von einem Individuum abgegebenen Wahlen und v_i die Anzahl der Wahlen, die ein Individuum erhält, so ist die relative Häufigkeit, mit der es gewählt wird, $h_i = v_i/kn$ und die elektive Entropie wird definiert durch die Formel (Cube/Gunzenhäuser, 1963, S. 14):

$$(1) \qquad EE = \sum_{i=1}^{n} h_i \cdot \mathrm{ld}\frac{1}{h_i} \qquad\qquad \sum_{i=1}^{n} h_i = 1.$$

Um Gruppen verschiedener Individuenzahl n oder verschiedener Wahlzahl k hinsichtlich ihrer Ordnungsstruktur vergleichen zu können, wird die elektive Entropie auf einen Zahlenwert zwischen Null und Eins normiert (Cube/Gunzenhäuser, 1963, S. 27) und man erhält als Formel für die normierte elektive Entropie:

$$(2) \qquad EEN = \frac{EE_{max}(n) - EE(k,n)}{EE_{max}(n) - EE_{min}(k,n)}$$

Ist die Wahlzahl k nicht vorgegeben, so vereinfacht sich die Formel für EEN auf:

(3) $$EEN = 1 - \frac{EE}{ld\ n}$$

Von Max Bense stammt der Gedanke, daß man die normierte elektive Entropie auch auf die Beziehungen zwischen den Personen eines Dramas anwenden könnte: Die Beziehungen müßten dann in irgendeiner Weise quantifiziert, das Drama in einzelne Phasen unterteilt und für jede Phase und die zugehörige Personengruppe der Entropiewert bestimmt werden. Das kann man sowohl für die positiven als auch für die negativen Beziehungen machen und erhält dabei eine Folge von positiven und eine Folge von negativen Entropiewerten, die man über den Phasen als Abszissen in einem "Entropiediagramm" auftragen kann. Mit dieser Methode ergeben sich für jedes Drama zwei Kurven, die als Grundlage für den Vergleich verschiedener Dramen dienen können.

2. Probleme bei der Anwendung

Bei der praktischen Durchführung der genannten Methode ergeben sich im wesentlichen drei Probleme:

a) Phaseneinteilung

Setzt man voraus, daß untersucht werden soll, wie sich die Beziehungen der Personen untereinander im Verlauf des Dramas ändern, so ist die Einteilung in Akte oder Szenen nicht zweckmäßig. Die kommunikative Struktur kann nämlich über mehrere Szenen hinweg gleichbleiben und sich dann innerhalb einer Szene plötzlich ändern. Eine neue Phase beginnt also immer dann, wenn sich die Beziehungen innerhalb einer Personengruppe ändern oder eine völlig neue Personengruppe auftritt. Hieraus erklärt sich auch die unterschiedliche Länge der einzelnen Phasen. Man kann sich bei dieser Einteilung auf stärkere Veränderungen beschränken, da kleine Änderungen den Entropiewert nur unwesentlich beeinflussen und daher im Kurvenverlauf nur geringfügige Schwankungen hervorrufen.

b) Feststellung und Quantifizierung der Beziehungen

Die Beziehungen zwischen den Personen eines Dramas können ausschließlich durch die kommunikativen Äußerungen im Text (Sprache oder Handlung) festgestellt werden. Eine Bewertung erfolgt im einfachsten Fall durch positiv (+), negativ (-) und, falls keine oder neutrale Äußerungen vorliegen, Null (0). Eine Person kann dabei gleichzeitig positive und negative "Wahlen" (in einem verallgemeinerten Sinn) erhalten. Die relative Häufigkeit des "Gewähltwerdens" für eine Person ergibt sich durch die Normierung der von ihr erhaltenen "Wahlen" durch die Gesamtzahl der abgegebenen "Wahlen". (Da keine Wahlzahl vorgegeben ist, wird Formel (3) verwendet.)

Eine feinere Bewertungsskala, z.B. +3, +2, +1, 0, -1, -2, -3, ermöglicht zwar eine Unterscheidung der Beziehungen, beispielsweise nach Intensitätsgraden, hat aber den

Nachteil, daß die Eindeutigkeit bei der Bewertung einer Textstelle nicht in dem Maße gewährleistet ist, wie im ersten Fall.

Versuche mit beiden Quantifizierungsarten haben ergeben, daß der Einfluß auf den Gesamtverlauf der Entropiekurven so gering ist, daß er im allgemeinen vernachlässigt werden kann.

c) Personen

Es erhebt sich die Frage, ob man bei der Analyse eines Dramas nach der genannten Methode alle im Stück auftretenden Personen oder nur die Hauptpersonen berücksichtigen soll. Da bei der vorliegenden Untersuchung nur der Hauptkonflikt des Dramas von Bedeutung ist, können wir uns auf die Hauptpersonen beschränken. Unter Nebenpersonen verstehen wir dabei solche, durch deren Auftreten zwar die Handlung oder die kommunikative Struktur verändert werden kann, die sie aber nicht durch eigene kommunikative Äußerungen beeinflussen (Diener, Boten, etc.). Vernächlässigt man noch weitere Personen, so treten im Kurvenverlauf Änderungen auf, die aber - wie einige Versuche gezeigt haben - meist vernachlässigt werden können.

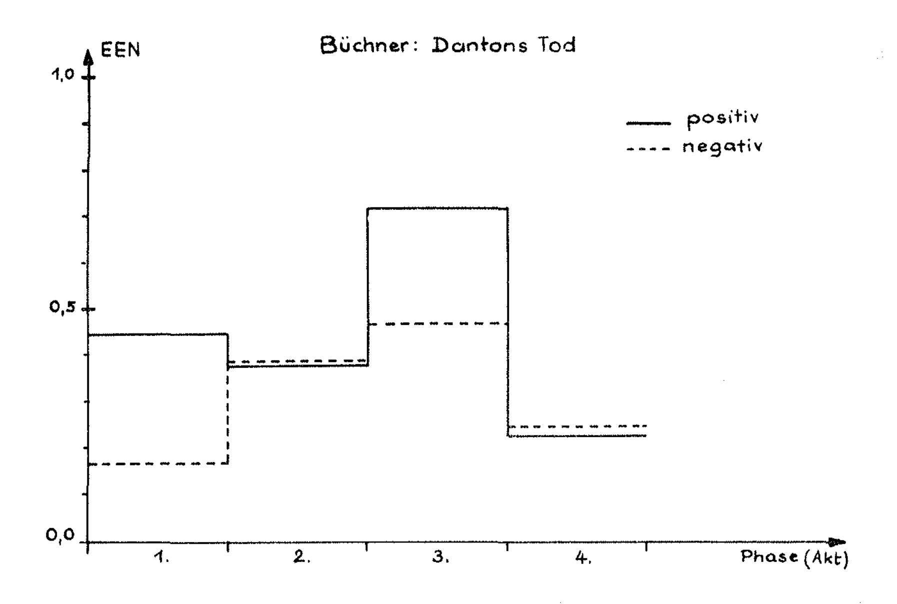
Eine weitere Frage ist, ob man in jeder Phase die kommunikative Struktur aller Personen oder nur die der dort auftretenden untersuchen soll. Auch hier hat sich gezeigt, daß die auftretenden Unterschiede im allgemeinen vernachlässigbar sind.

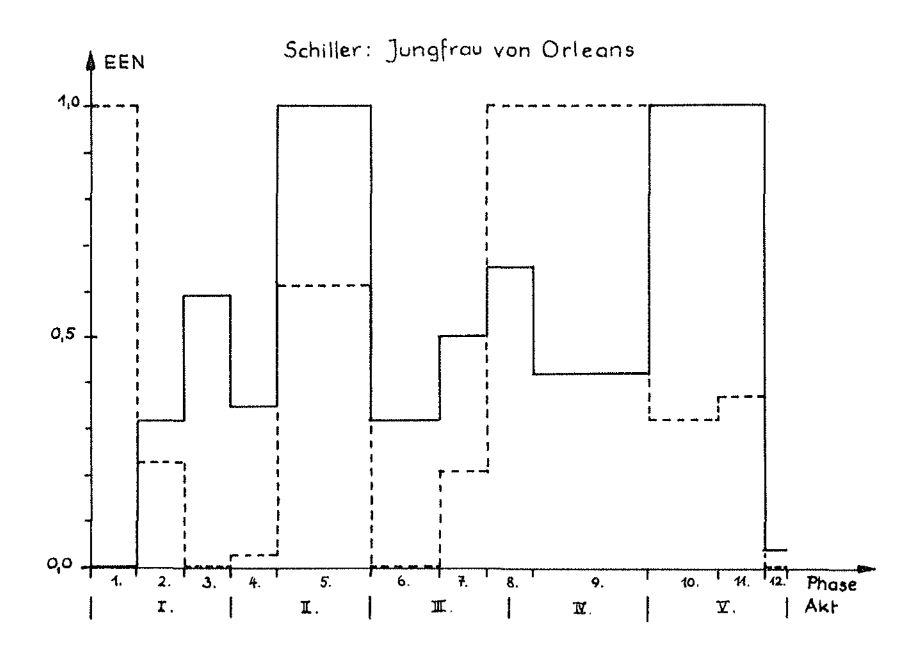
Bei den folgenden Beispielen für Entropiediagramme ist die Bewertungsskala +, 0, - zugrundegelegt und es wurden in jeder Phase nur die dort auftretenden Hauptpersonen (im obigen Sinne) berücksichtigt.

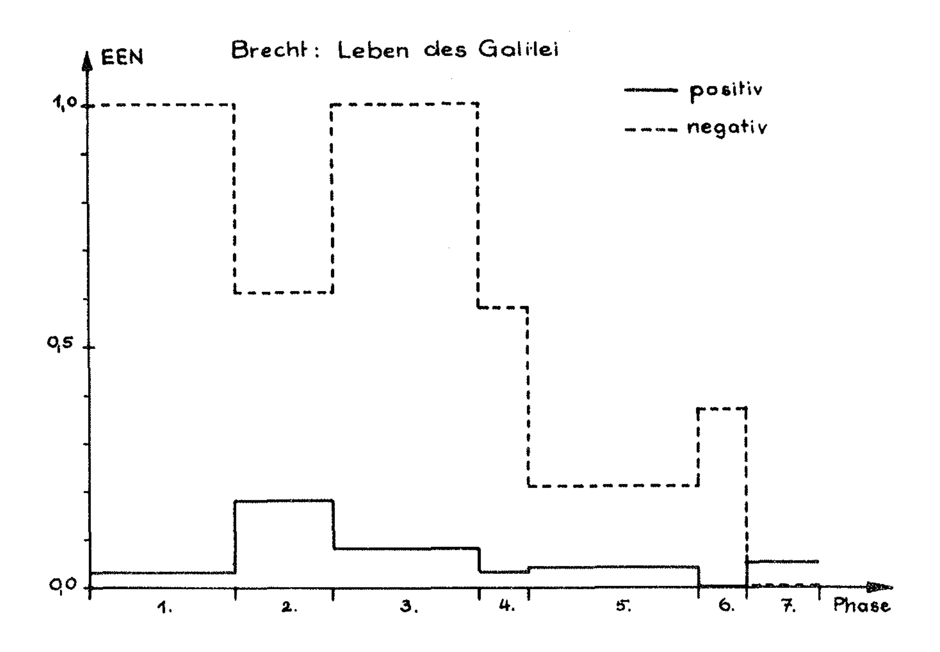
3. Erste Ergebnisse

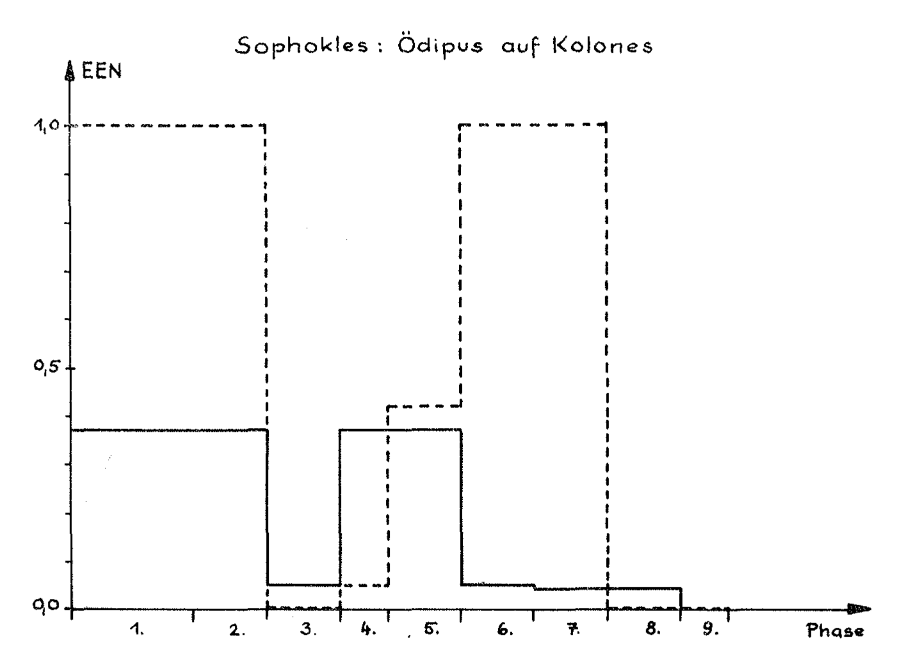
Die Gewinnung von ästhetischer Information (Bense, 1956) und damit das Auftreten eines ästhetischen Effekts ist nach der Theorie von Max Bense ein Redundanzprozeß, der gekennzeichnet ist "durch eine jeweils ungleichmäßige, geordnete und damit unwahrscheinliche Verteilung der Elemente" (Bense, 1956, S. 49).

Betrachtet man bei der vorliegenden Untersuchung in jedem Drama die gefundenen Wahlverteilungen, so wäre von der ästhetischen Theorie Benses her eine Tendenz zur unwahrscheinlichen Verteilung (im Sinne eines ästhetischen Effektes) zu erwarten. Es ist denkbar, daß sich für die kommunikative Struktur einer Personengruppe eine Art "Normalverteilung" finden läßt. Versuche mit Schulklassen haben gezeigt, daß sowohl bei positiven als auch bei negativen Wahlen ("Neben wem möchtest Du sitzen?"; "Neben wem möchtest Du nicht sitzen?") jeweils nur ein relativ kleiner Wertebereich für EEN realisiert wird. Der Durchschnittswert liegt im positiven Fall bei EEN = 0,13, im negativen bei EEN = 0,39 (Cube, 1964).


Büchner: Dantons Tod
EEN
1,0
0,5
0,0
positiv
negativ
1.
2.
3.
4.
Phase (Akt)


Schiller: Jungfrau von Orleans
EEN
1,0
0,5
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
10.
11.
12.
Phase
I.
II.
III.
IV.
V.
Akt


Brecht: Leben des Galilei
EEN
positiv
negativ
1,0
0,5
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
Phase


Sophokles: Ödipus auf Kolones
EEN
1,0
0,5
0,0
1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
Phase

Selbstverständlich können die bei Schulklassen gefundenen Werte noch nicht als Norm betrachtet werden; einmal handelt es sich nicht um Erwachsene, zum andern beruht die Zugehörigkeit zu einer Schulklasse auf äußerem Zwang, und außerdem wurden nur Wahlen nach einem bestimmten Kriterium getroffen. (Bei einer Gruppenbildung auf freiwilliger Basis werden die genannten Durchschnittswerte wohl noch etwas niedriger sein.)

Starke Abweichungen, vor allem in Richtung höherer Entropiewerte, von solchen postulierten Normwerten (wir beziehen uns zunächst auf die - nur als vorläufige Orientierungswerte geltenden - Ergebnisse bei Schulklassen) würden eine unwahrscheinliche Verteilung und damit einen ästhetischen Effekt darstellen. Daß ein solcher Effekt in jedem Drama mehr oder weniger häufig auftritt (und zwar sowohl für den positiven wie für den negativen Bereich) soll an einigen Entropiediagrammen gezeigt werden.

Unabhängig von dem aus den Beispielen ersichtlichen Effekt, kann man nun die Frage stellen, wie die Art und Weise der Aufeinanderfolge von höheren und niedrigeren Werten von EEN mit den einzelnen Situationen im Drama und mit seiner Gesamtthematik zusammenhängen.

Ganz allgemein ist zu sagen, daß ein Wert von EEN, der nahe bei 1 liegt, bedeutet, daß sich alle positiven (oder negativen) Beziehungen auf eine oder wenige Personen konzentrieren, daß also eine "Star"- oder "Igel"-Bildung vorhanden ist. Werte von EEN, die nahe bei Null liegen, zeigen dagegen, daß sich die Beziehungen gleichmäßig auf alle Personen verteilen.

Verschiedene Versuche lassen darauf schließen, daß je nach dem im Drama behandelten Problem der Gesamtverlauf des Entropiediagrammes eine ganz bestimmte Struktur annimmt. Es besteht dann die Möglichkeit, die Dramen hinsichtlich dieser Struktur zu klassifizieren und damit gleichzeitig eine Aussage über ihre Thematik zu machen.

Schrifttumsverzeichnis

Bense, Max: Ästhetica II, Agis-Verlag, Baden-Baden, 1956

von Cube, Felix/ Gunzenhäuser, Rul: Über die Entropie von Gruppen, Schnelle, Quickborn, 1963

von Cube, Felix: Experimente zur Gruppenentropie, 1964, GrKG, Heft 3/4

Moreno, J.L.: Die Grundlagen der Soziometrie, 1954, Westdeutscher Verlag, Köln und Opladen

Eingegangen am 11. Dezember 1964

VARIATIONEN VON FIGUREN IN DER STATISTISCHEN GRAFIK

von Georg N e e s, Erlangen

Bild 1 zeigt 280 Achtecke, deren Eckpunkte jeweils innerhalb eines Quadrats von 13 mm Kantenlänge zufällig gewählt wurden. In Bild 2 werden auf gleiche Weise 23-Ecke dargestellt. Das dreiundzwanzigste und erste Eck der 23-Ecke wird dabei durch eine Schräge verbunden, während die übrigen Ecken waagerecht oder senkrecht nebeneinander oder übereinander liegen.

In beiden Bildern wird nicht etwa von Figur zu Figur systematisch variiert, sondern die Einzelfiguren stellen zufällige Variationen ein und desselben Themas, nämlich des Acht- bzw. speziellen 23-Ecks dar.

Zum Zeichnen wurde die auch in der Notiz "Statistische Grafik" erwähnte Ausrüstung benutzt. Das Programmiersystem samt der unten erwähnten Anweisungen P und S ist in die Sprache ALGOL eingebettet. Als ALGOL-Übersetzer diente ALCOR MAINZ 2002. Eine Prozedur zum Fahren von Strecken stand zur Verfügung+), sie wurde Teil von P und S. Wir werden im folgenden etwas näher auf die Programmierung der Figurvariationen Bild 2 eingehen, Bild 1 entstand ganz ähnlich.

Wir unterscheiden gewisse Variable A, B, X, Y usw., denen Zahlenwerte zugewiesen werden können. Die Zuweisung etwa des Zahlenwerts von A an die Variable X drücken wir durch die Formel

X wird A

aus. Unter den Variablen sind zunächst die Grenzen JA und JE des Streuintervalls, d.h. desjenigen Zahlenintervalls ausgezeichnet, aus dem wir einen zufälligen Zahlenwert entnehmen. Die Variable für zufällige Zahlenwerte, wir sagen auch: Streuwerte, ist J. Zwei Zuweisungen

A wird J; B wird J

weisen also den Variablen A und B nicht den gleichen, sondern jeweils einen zufälligen Streuwert aus dem Intervall JA bis JE zu. Die Kommandogabe für das Zeichnen selbst geht folgendermaßen vor sich: Im Zeichenblatt ist kantenparallel ein Achsenkreuz X, Y definiert. Nicht zu große Werte von X und Y bestimmen also eindeutig einen Punkt auf dem Zeichenblatt. Es gibt nun zwei Zeichenanweisungen P und S mit folgender Bedeutung: P ("Positionierung") kommandiert den Zeichenstift an die Stelle X, Y.

+) Ich verdanke sie Frau G. Selz und Herrn H.-L. Haas

Die Anweisung S ("Strecke") hingegen löst die Aufbringung der Strecke durch den Zeichenstift auf das Zeichenblatt aus, die von dem alten, noch gespeicherten Punkt X, Y zu einem neuen Punkt X', Y' führt. Der Anfangspunkt ist der Koordinatenursprung. Beispielsweise würde das Programm

X wird 1; Y wird 1; P;
X wird 2; Y wird 2; S

das Zeichen einer bestimmten 45°-Schräge der Länge $\sqrt{2}$ im ersten Quadranten des Achsenkreuzes auslösen.

Wir bringen nun das Zeichenprogramm zu Bild 2
(Längeneinheit = 1 Millimeter):

```
(1)   für M von O (in Schritten von 15)
(2)   bis 285:
(3)   { für U von O (in Schritten von 15)
(4)   bis 195:
(5)   [JA wird M + 1; JE wird M + 14;
(6)   A wird J; X wird A;
(7)   JA wird U + 1; JE wird U + 14;
(8)   B wird J; Y wird B; P;
(9)   für T von 1 (in Schritten von 1)
(10)  bis 11:
(11)  (JA wird M + 1; JE wird M + 14;
(12)  X wird J; S;
(13)  JA wird U + 1; JE wird U + 14;
(14)  Y wird J; S);
(15)  X wird A; Y wird B; S ]}
```

Das Programm zum Zeichnen der Einzelfiguren steht in eckigen Klammern (Zeilen (5) bis (15)). Die Zeilen (1) und (2) besorgen das Variieren der Einzelfigur längs der breiten Kante des Zeichenblattes, die Zeilen (3) und (4) das Variieren längs der schmalen Kante. Zur Einzelfigur: Durch die Zeilen (5) bis (8) wird der Zeichenstift zunächst zum Anfangspunkt des einzelnen 23-Ecks gebracht. Darauf erfolgt in den Zeilen (9) und (10) das Durchzählen einer Programmschleife, deren Wiederholungsteil in den Zeilen (11) bis (14) steht. Diese Programmschleife führt das Zeichnen von zweiundzwanzig aufeinanderfolgenden Seiten des 23-Ecks aus. In Zeile (15) schließlich erfolgt das Durchziehen des 23-Ecks zum Anfangspunkt A, B. Das Programm besitzt drei ineinandergeschachtelte Schleifen (geschweifte, eckige und runde Klammern).

Dem Leser wird empfohlen, nunmehr probeweise das Programm zu Bild 1 aufzustellen.

Bild 1

Bild 2

Will man statistische Zeichenexperimente ohne Rechenmaschine ausführen, so benutzt man als Zufallsgenerator am besten eine "Urne": Man legt in eine Schachtel zehn gleichartige Gegenstände (z.B. Dominosteine), die man mit den Ziffern 0 bis 9 beklebt hat. Zur Erzeugung einer n-stelligen Zufallszahl wiederholt man n-mal: Eine Ziffer blind aus der Schachtel ziehen, ihren Wert notieren, sie zurücklegen, die Schachtel schütteln. Die gewonnene n-stellige Zahl dividiert man durch 10 hoch n, multipliziert dann mit JE-JA und addiert schließlich JA.

Die beiden hier erwähnten Zufallsgeneratoren liefern gleichverteilte Zufallszahlen. Im Fall, daß aufeinanderfolgende Zufallszahlen übereinstimmen, können die gezeichneten Vielecke entarten.

Eingegangen am 12. November 1964

GRUNDLEGENDE MATERIALSAMMLUNG ZUR DEUTSCHEN SPRACHSTATISTIK

besprochen von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

Helmut Meier: Deutsche Sprachstatistik, Bd. I/II, Georg Olms Verlagsbuchhandlung, Hildesheim 1964 (406 + 144 Seiten)

In einer sich über vier Jahrzehnte erstreckenden, mühevollen Kleinarbeit ohne Zuhilfenahme von Datenverarbeitungsanlagen hat der Verfasser das Häufigkeitswörterbuch von Kaeding, von dem in Band 4 der GrKG eine auszugsweise Reproduktion enthalten ist, neu ausgewertet und durch zahlreiche eigene Auszählungen ergänzt. Die naheliegendste und für zahlreiche Forschungseinrichtungen praktisch wichtigste Arbeit ist auf S. 111 - 137 des zweiten Bandes geleistet: die Rangordnung der Wörter, die Kaeding auf S. 53-54 seines Werkes nur vom Rang 1 ("die") bis zum Rang 320 ("wenig") wiedergab, führt Meier nun bis zum Rang 7994 ("zeichnet") fort, wobei die Ränge von 7932 ("Abwehr") bis 7994 derselben absoluten Häufigkeit, nämlich 101, in den 10 910 777 Textwörtern des von Kaeding ausgewerteten Materials entsprechen. Zu beachten ist, daß Kaeding seine Rangliste unter Einschluß des Vorkommens der Wörter in Zusammensetzungen aufstellte (also aufgrund von Spalte 6 statt Spalte 2, S. 45-53), was die Benutzung erschwert. Meier hat erfreulicherweise diesen Mangel behoben (und überdies die neue Orthographie zugrundegelegt), was beträchtliche Verschiebungen der Ränge bewirkt hat ("wenig" rückt auf Rang 222 vor!).

Während diese Arbeit ohne prinzipielle Schwierigkeit heute auch unter Verwendung von Großrechenanlagen geleistet werden könnte, bringt der überwiegende Teil des umfangreichen Werkes (das mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft gedruckt und in seiner Endphase auch gefördert wurde) Auswertungen, die mindestens derzeit noch nicht automatisch durchführbar sind (Trennung homonymer Wörter!) und vor allem eine Fülle neuer Einsichten und Aspekte, die nur als Frucht repetitiver Kleinarbeit anfallen. Hierfür möge die Text-Kennzeichnung durch "Spektren" als Beispiel dienen. Meier teilt die Rangliste in 12 "Häufigkeitsstufen", ordnet jeder Stufe eine Spektralfarbe in der entsprechenden Anordnung zu (also Rot für die Stufe I, Orange für die Stufe II usf.), ersetzt in einem gegebenen Text jedes Wort durch die Stufe, der es angehört, und stellt die Häufigkeit dieser Stufenzeichen durch eine dazu proportionale Breite der zugeordneten Farbe innerhalb der Wiedergabe des Farbenspektrums dar. Im Anhang zum ersten Band gibt Meier 23 Spektren verschiedener Texte zum Vergleich mit dem Spektrum des Kaedingschen Mischtextes wieder. Diesem erweist sich unter den gegebenen Beispielen Thomas Manns Novelle "Unordnung und frühes Leid" in dieser Hinsicht als besonders ähnlich. Daneben gibt es Texte mit einer übermäßigen Verbreiterung des Violett-Anteils ("wortweite" Texte, z.B. der Inseratenteil einer Zeitung) und solche mit einer Verkümmerung dieses die Häufigkeit der Verwendung von Wörtern hoher Ränge anzeigenden Teils des Spektrums ("wortenge" Texte, die sowohl bei unzureichender Sprachbeherrschung wie auch als Äußerungen in Grenzsituationen entstehen können). Hochinteressant ist die Altersverteilung der deutschen Wörter über die Rangskala bzw. die

Meierschen Häufigkeitsstufen: 71 % der Wörter der ersten Stufe (Ränge 1-207) sind Erbgut, das schon vor dem Althochdeutschen gebraucht wurde, während bei der sechsten Stufe (Ränge 3296 - 4691) kaum 30 % der Wörter zu dieser Altersklasse gehören.

Aus der Fülle weiterer Untersuchungen, die Meier aufgrund des Kaedingschen Materials oder in Weiterführung der Arbeit Kaedings durchführte, sei nur die Anwendung der "Spektren"-Analyse in neun Wissenschaftsgebieten, die Lautstatistik und die Buchstabenstatistik mit ihrer Anwendbarkeit auf die Gestaltung von Tastenfeldern erwähnt.

Insgesamt handelt es sich keineswegs um ein sprödes Tabellenwerk, vielmehr ist das empirische Material graphisch, typographisch und insbesondere durch geist- und humorvolle erläuternde Texte so lebendig gestaltet, daß man in dem Lebenswerk Helmut Meiers mit Spannung liest, wo immer man es aufschlägt. Die Bedeutung, die es für die Informationswissenschaft in Deutschland haben wird, kann nicht hoch genug eingeschätzt werden.

Eingegangen am 19. Dezember 1964

KYBERNETISCHE VERANSTALTUNGEN

Das 3. Nürtinger Symposion über Lehrmaschinen wurde vorverlegt auf 18. - 20. März 1965. Vortragsanmeldungen zu einem der drei Rahmenthemen (Lehrprogrammtexte; Lehrmaschinen; Lehralgorithmen und Lehrmaschinenprogramme) können bis spätestens 15. Februar unter Beifügung einer Kurzfassung in doppelter Ausfertigung von höchstens einer Schreibmaschinenseite Umfang beim wissenschaftlichen Tagungsleiter (Prof. Dr. Helmar Frank, Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100) eingereicht werden.

Die Kybernetik-Tagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Kybernetik in Kiel wurde auf 31. August - 3. September 1965 verschoben. Fachleute, die Vorträge anzumelden wünschen, werden gebeten, ihre Vortragsthemen mit kurzer Inhaltsangabe auf ein bis zwei Schreibmaschinenseiten spätestens bis zum 28. Februar 1965 an den wissenschaftlichen Tagungsleiter (Prof. Dr. Werner Kroebel, Institut für Angewandte Physik, Kiel, Olshausenstraße) unter der Kennzeichnung "DAGK-Tagung Kiel 1965" einzusenden.

Die Schriftleitung bittet um laufende Benachrichtigung über geplante kybernetische Veranstaltungen im In- und Ausland.

DIE AUTOREN VON BAND 5 (1964)

Eckel, Karl	6472 Altenstadt, Schulstr. 19
Fischer, Dr. Hardi	Forschungsstelle für Arbeitspsychologie der ETH Zürich 7, Plattenstr. 26
Frank, Professor Dr. Helmar	(Waiblingen) jetzt: 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39
Geißler, H.-G.	im Institut für Psychologie der Humboldt-Universität, Berlin C 2, Oranienburger Str. 18
Hengst, Professor Martin	1 Berlin 12, Giesebrechtstr. 8
Nees, Georg	Siemens-Schuckert-Werke ZEF/RZ 852 Erlangen, G. Scharowskystraße
Reichert, Waltraud	1 Berlin 46, Kaulbachstr. 12
Schnelle, Eberhard	2202 Barmstedt (Holstein), Küsterkamp
Stahl, Volker	8704 Uffenheim, Friedrich-Ebert-Str. 16
von Cube Professor Dr. Felix	7 Stuttgart-S, Im Lerchenrain 20
Weltner, Professor Dr. Klaus	45 Osnabrück, Delmenhorster Weg 2

INHALT VON BAND 5 (1964)

Heft 1 (Juli)

Heft 2 (Oktober)

Heft 3/4 (Dezember)

N e u e r s c h e i n u n g   H e r b s t   1964

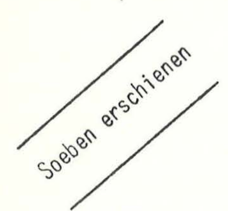
KYBERNETISCHE ANALYSEN SUBJEKTIVER SACHVERHALTE

von Helmar Frank

Das Buch enthält zwei Arbeiten (Kybernetik und Ästhetik - Überraschungswert und Auffälligkeit), in denen versucht wird, anhand je eines empirischen, quantitativ verfolgten Beispiels die Fruchtbarkeit des kybernetischen Denkens, insbesondere der Informationstheorie, auch in geisteswissenschaftlichen Problemfeldern nachzuweisen und damit die Berechtigung eines geisteswissenschaftlichen Sektors der Kybernetik, den der Autor "Informationswissenschaft" nennt, zu erhärten. Die erste Arbeit erläutert anhand neuen Materials das Anliegen und die Methoden der Informationsästhetik, wobei die Begriffe ästhetische Information, semantische Information und Überraschungswert mathematisch präzisiert und damit numerisch anwendbar gemacht werden. Aus dem Maß des Überraschungswertes leitet der Autor in der zweiten Arbeit ein Maß der Auffälligkeit (Penetranz) her, mit dem verschiedene Erscheinungen sogar der Alltagspsychologie plötzlich mathematisch durchsichtig werden, vor allem die systematische Überschätzung seltener Ereignisse und die Beeinflußbarkeit in Wahlsituationen. Aus den überwiegend neuen experimentellen Befunden leitet der Autor sogar ein mathematisches Modell für gewisse Modeschwankungen ab.

82 S. 22 Abb. kart. DM 9,60

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN BEI HAMBURG



L E X I K O N
d e r
K Y B E R N E T I K

Herausgegeben von A. Müller
mit einem Geleitwort von Prof. Dr. K. Küpfmüller

Die Kybernetik, die in den letzten Jahren so stark und so vielseitig entwickelte jüngste aller Wissenschaften, bedarf zweifellos schon seit langem eines definierenden Nachschlagebuches. Eine anerkannte Terminologie der Kybernetik ist zwar im Entstehen, liegt aber immer noch nicht eindeutig vor. Trotzdem oder eigentlich gerade deswegen ist ein kybernetisches Wörterbuch dringend erforderlich geworden.

Gerade die im gegenwärtigen Sprachgebrauch zu beobachtende uneinheitliche Terminologie und das rasch anwachsende Interesse der verschiedensten Kreise an der Kybernetik veranlassen Verlag und Herausgeber, einen Nachschlageband vorzulegen, der zumindest vorläufige Information bietet und zur Orientierung dienen soll. Deshalb erhebt das "Lexikon der Kybernetik" nicht den Anspruch einer Sprachnormung - hierum bemühen sich die Normenausschüsse der einzelnen wissenschaftlichen Gesellschaften - sondern es will lediglich als eine Bestandaufnahme von gegenwärtig gebräuchlichen Interpretationen der für die Kybernetik relevanten Begriffe verstanden werden. So ist es nicht ungewöhnlich, daß im "Lexikon der Kybernetik" ein Begriff (z.B. "Codierung") im Lichte verschiedener Disziplinen definiert wird. Diese Einstellung fand auch die Zustimmung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Kybernetik (DAGK), deren Arbeitskreis "Terminologie der Kybernetik" unter dem Vorsitz von Professor Dr.-Ing. K. Steinbuch die Arbeit am Lexikon unterstützte.

Neben dem lexikalischen Teil enthält das "Lexikon der Kybernetik" einen fremdsprachlichen Teil, der in alphabetischer An ordnung die entsprechenden englischen, französischen und russischen Begriffe der im lexikalischen Teil behandelten Stichwörter bringt.

548 Stichwörter. Dreisprachiges Stichwortregister (englisch, französisch, russisch) 232 Seiten, Ganzleinen, Format DIN A 5. DM 34,50

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN BEI HAMBURG

Richtlinien für die Manuskriptabfassung.

Es wird zur Beschleunigung der Publikation gebeten, Beiträge an die Schriftleitung in doppelter Ausfertigung einzureichen. Etwaige Tuschzeichnungen oder Photos brauchen nur einfach eingereicht zu werden.
Artikel von mehr als 12 Druckseiten Umfang können in der Regel nicht angenommen werden. Unverlangte Manuskripte können nur zurückgesandt werden, wenn Rückporto beiliegt. Es wird gebeten bei nicht in deutscher Sprache verfaßten Manuskripten eine deutsche Zusammenfassung anzufügen und wenn möglich, zur Vermeidung von Druckfehlern, das Manuskript in Proportionalschrift mit Randausgleich als fertige Photodruckvorlage einzusenden.
Die verwendete Literatur ist, nach Autorennamen alphabetisch (verschiedene Werke desselben Autors chronologisch) geordnet, in einem Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Beitrags zusammenzustellen. Die Vornamen der Autoren sind mindestens abgekürzt zu nennen. Bei selbständigen Veröffentlichungen sind Titel, Erscheinungsort und -jahr, womöglich auch Verlag, anzugeben. Zeitschriftenbeiträge werden vermerkt durch Name der Zeitschrift, Band, Seite (z. B. S. 317–324) und Jahr, in dieser Reihenfolge. (Titel der Arbeit kann angeführt werden). Im selben Jahr erschienene Arbeiten desselben Autors werden durch den Zusatz „a", „b" etc. ausgezeichnet. Im Text soll grundsätzlich durch Nennung des Autorennamens und des Erscheinungsjahrs des zitierten Werkes (evtl. mit dem Zusatz „a" etc.), in der Regel aber nicht durch Anführung des ganzen Buchtitels zitiert werden. Wo es sinnvoll ist, sollte bei selbständigen Veröffentlichungen und längeren Zeitschriftenartikeln auch Seitenzahl oder Paragraph genannt werden. Anmerkungen sind zu vermeiden.

Forme des manuscrits.

Pour accélérer la publication les auteurs sont priés, de bien vouloir envoyer les manuscrits en deux exemplaires. Des figures (à l'encre de chine) et des photos, un exemplaire suffit.
En général les manuscrits qui fourniraient plus de 12 pages imprimées ne peuvent être acceptés. Les manuscrits non demandés ne peuvent être rendus que si les frais de retour sont joints. Si les manuscrits ne sont pas écrits en allemand, les auteurs sont priés de bien vouloir ajouter un résumé en allemand et si possible, pour éviter des fautes d'impression, de fournir le manuscript comme original de l'impression phototechnique, c'est-à-dire tapé avec une machine aux caractères standard et avec marges étroites.
La littérature utilisée doit être citée à la fin de l'article par ordre alphabétique; plusieurs oeuvres du même auteur peuvent être enumérées par ordre chronologique. Le prénom de chaque auteur doit être ajouté, au moins en abrégé. Indiquez le titre, le lieu et l'année de publication, et, si possible, l'éditeur des livres, ou, en cas d'articles de revue, le nom de la révue, le tome, les pages (p.ex. p. 317–324) et l'année, suivant cet ordre; le titre des travaux parus dans de revues peut être mentionné. Les travaux d'un auteur parus la même année sont distingués par «a», «b» etc. Dans le texte on cite le nom de l'auteur, suivi de l'année de l'édition (éventuellement complété par «a» etc.), mais non pas, en général, le titre de l'ouvrage; si c'est utile on peut ajouter la page ou le paragraphe. Evitez les remarques en bas de pages.

Form of Manuscript.

To speed up publication please send two copies of your paper. From photographs and figures (in indian ink) only one copy is required.
Papers which would cover more than 12 printed pages can normally not be accepted. Manuscripts which have not been asked for by the editor, are only returned if postage is enclosed.
If manuscripts are not written in German, a German summary is requested. If possible these manuscripts should be written as original for phototechnical printing, i. e. typed with proportional types and with straight-line margin.
Papers cited should appear in the Bibliography at the end of the paper in alphabetical order by author, several papers of the same author in chronological order. Give at least the initials of the authors. For books give also the title, the place and year of publication, and, if possible, the publishers. For papers published in periodicals give at least the title of the periodical in the standard international abbreviation, the volume, the pages (e.g. p. 317–324) and the year of publication. (It is useful to add the title of the publication.) When more than one paper of the same author and the same year of publication is cited, the papers are distinguished by a small letter following the year, such as "a", "b" etc. References should be cited in the text by the author's name and the year of publication (if necessary followed by "a" etc.), but generally not with the full title of the paper. It might be useful to mark also the page or paragraphe referred to.